UNIVERSITY OF TORONTO
3 1761 00175317 7

Recueil d'Œuvres

de

Léo Errera

Botanique Générale

II

PRESENTED

TO

THE UNIVERSITY OF TORONTO

BY

Madame Leo Errera

RECUEIL D'ŒUVRES

DE

LÉO ERRERA

RECUEIL D'ŒUVRES

DE

LÉO ERRERA

BOTANIQUE GÉNÉRALE

II

AVEC 74 FIGURES DANS LE TEXTE

BRUXELLES
H. LAMERTIN, Libraire-Éditeur
20, Rue du Marché-au-Bois, 20

BERLIN
R. Friedländer & Sohn

LONDRES
Williams & Norgate

PARIS
A. Hermann

MILAN
Ulrico Hoepli

1909

9527
18/3/09

Q
113
E77
1908
V. 2

TABLE DES MATIÈRES

Pages

I. LA RESPIRATION DES PLANTES 1

II. DE GRÂCE, DES NOMS LATINS! 27

III. LES BASES SCIENTIFIQUES DE L'AGRICULTURE.

I. Les éléments 31
II. La plante 32
III. Le sol et l'atmosphère 36
IV. La nutrition par les poils radicaux 37
V. La nutrition par les feuilles 39
VI. La transpiration 40
VII. La formation de la matière végétale . . . 41
VIII. La respiration. 41
IX. La destruction de la matière végétale . . 42
X. La circulation de la matière et de la vie . 44
XI. Cycles de l'oxygène, du carbone et de l'azote. 46
XII. Les trois règles fondamentales de l'agriculture 50
XIII. L'engrais 52
XIV. Engrais naturels. 54
XV. Engrais commerciaux 56
XVI. Amendements, assolements et organismes auxiliaires. 60
XVII. Choix des engrais 63

Pages

IV. TEXTE DESCRIPTIF DES PLANCHES DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE 67

PLANCHE I. — Composition chimique. — Nutrition par les racines 70
Explication de la planche 73
PLANCHE II. — Respiration 75
Explication de la planche 77
PLANCHE III. — Nutrition par les feuilles . . . 78
Explication de la planche 82
PLANCHE IV. — Transpiration 83
Explication de la planche 86
PLANCHE V. — Plantes saprophytes et parasites. — Fermentation. 87
Explication de la planche 94
PLANCHE VI. — Plantes carnivores : *Drosera* . . 95
Explication de la planche 97
PLANCHE VII. — Plantes carnivores : *Dionaea* et *Nepenthes*. — Fixation de l'azote : Légumineés. 99
Explication de la planche 107
PLANCHE VIII. — Croissance : Étiolement et croissance des racines 108
Explication de la planche 111
PLANCHE IX. — Croissance : Croissance des tiges en longueur et en épaisseur. 113
Explication de la planche 121
PLANCHE X. — Géotropisme 123
Explication de la planche 127
PLANCHE XI. — Héliotropisme 128
Explication de la planche 132
PLANCHE XII. — Plantes volubles 134
Explication de la planche 136
PLANCHE XIII. — Plantes volubles et plantes grimpantes 137
Explication de la planche 141

Pages

PLANCHE XIV. — Mouvements foliaires et floraux. Sensitive 143

Explication de la planche 148

PLANCHE XV. — Variabilité des espèces : Races de Choux 150

Explication de la planche 155

V. LETTRE PRÉFACE A LA *Flore des Algues de Belgique*, par E. DE WILDEMAN 157

VI. UNE LEÇON ÉLÉMENTAIRE SUR LE DARWINISME . . . 163

ŒUVRES POSTHUMES

I. LES PLANTES VIS-A-VIS DU RESTE DE LA NATURE 271

II. CE QU'IL Y A DANS UNE PLANTE 301

III. L'ÉPOPÉE D'UN RAYON DE SOLEIL 321

LA RESPIRATION DES PLANTES (1)

Deux grandes brèches se produisent dans l'organisme de la plante durant toute sa vie : une perte de carbone et d'hydrogène par l'effet de la respiration ; une perte d'eau par l'effet de la transpiration.

Nous examinerons dans notre entretien d'aujourd'hui la brèche respiratoire. J'appelle d'autant plus volontiers votre attention sur cette étude qu'elle est une des moins bien comprises par beaucoup de livres élémentaires. Dans ces ouvrages, on cherche presque toujours à établir une antithèse entre la respiration des animaux et la respiration des plantes, et l'on distingue en outre, chez celles-ci, une respiration nocturne et une respiration diurne. Autant d'idées fausses ! Nous verrons dans la suite quelle a été l'origine de ces erreurs longtemps professées, mais, à coup sûr, il est déplorable qu'elles se perpétuent dans des ouvrages d'enseignement, alors qu'elles ont disparu de la science.

Comme nous allons le démontrer, la respiration est absolument la même dans le règne animal et dans le règne végétal. A l'unité de composition chimique vient s'ajouter ainsi un résultat d'égale importance : l'unité de la respiration dans les deux règnes organisés.

(1) Cette leçon, la deuxième du Cours public de la ville de Bruxelles, 1890, [illegible] pour cette réimpression d'après les notes laissées par l'auteur

I

Voici un bocal au fond duquel on a placé un morceau de bougie sur un petit support. Allumons cette bougie : elle n'aura aucune peine à brûler aussi longtemps que le bocal reste ouvert. Le phénomène va être bien différent si nous fermons le bocal, ne laissant à la disposition de la bougie qu'une portion d'air limitée. Au bout de peu d'instants, la flamme commence à trembloter, elle diminue, elle ne tarde pas à s'éteindre. Ce qui arrive était facile à prévoir. Les particules d'oxygène contenues dans l'air du bocal se sont jetées de toutes parts sur les particules de carbone et d'hydrogène qui entrent dans la composition de l'acide stéarique de la bougie, formant avec celles-là de l'anhydride carbonique, avec celles-ci de la vapeur d'eau ; la chaleur dégagée, la lumière produite ne sont que l'effet de la violence avec laquelle se fait le choc des éléments qui se combinent. Aussitôt que la provision d'oxygène a ainsi été consumée, cette précipitation des particules cesse forcément, la combustion doit se ralentir, puis s'arrêter.

Pour vérifier l'explication qui vient d'être donnée, il suffira d'examiner la nature des gaz qui remplissent maintenant le bocal.

Les parois se sont couvertes d'une certaine buée, qui n'est autre chose que de la vapeur d'eau condensée : la formation de l'un des deux produits de la combustion, celui qui résulte de la combinaison de l'oxygène avec l'hydrogène, se trouve ainsi démontrée tout de suite.

Reste à établir la disparition de l'oxygène et à mettre en évidence l'autre produit.

Si l'oxygène a disparu, la petite bougie que je tiens au bout d'un fil de fer et que je vais introduire, allumée, dans le bocal, ne tardera pas à s'éteindre à son tour, et bien plus vite que la première. C'est en effet ce qui a lieu (1). L'oxygène manque par conséquent. Mais ce gaz qu'il y a là et qui éteint les corps en combustion, quel est-il? Ce peut être simplement l'azote que renfermait l'air primitif, ou bien cet azote mélangé avec de l'anhydride carbonique. L'eau de chaux va nous permettre de trancher la question : se trouble-t-elle, c'est qu'il y a de l'anhydride carbonique; reste-t-elle limpide, c'est qu'il n'y a que de l'azote. Or, vous le voyez, ce réactif que je verse dans le récipient prend tout de suite l'aspect blanchâtre, laiteux, qui est le signe certain de la présence de l'anhydride carbonique.

Ainsi, la combustion d'une bougie est une oxydation : elle enlève l'oxygène, fait apparaître de l'anhydride carbonique et de l'eau, et ne dure qu'un certain temps dans une atmosphère limitée. Une fois la bougie éteinte, une fois qu'elle a souffert du manque d'oxygène, l'atmosphère est devenue en quelque sorte irrespirable pour une autre bougie, qui s'y éteint immédiatement à cause même des modifications que la combustion de la première a fait subir à l'air environnant. Pour continuer à brûler, la bougie a besoin d'air qui se renouvelle sans cesse.

Il en est de même des organismes. Tous les êtres vivants ont besoin d'oxygène pour leur développement, et dans une atmosphère confinée, ils ne tardent pas à

(1) Il faut, dans cette expérience, avoir soin d'ouvrir le récipient avec précaution, afin d'éviter que l'air extérieur ne s'y engouffre. Comme il est presque impossible d'empêcher un léger mélange de ce genre dans la partie supérieure du bocal, ce n'est souvent que dans la partie profonde que se produit l'extinction immédiate de la bougie.

subir le même sort que la bougie. Pour les animaux, la chose est connue de tout le monde : il faut qu'ils aient à leur disposition une quantité suffisante d'oxygène, à l'état gazeux, s'il s'agit d'animaux terrestres; en dissolution dans l'eau, s'il s'agit d'animaux aquatiques. Le fait n'est pas aussi généralement connu pour les plantes, bien qu'il soit chez elles tout aussi certain et tout aussi clair.

Dans une leçon ultérieure, nous aurons à reparler en détail d'une plante dont le nom vous est certainement déjà familier : le *Mimosa pudica* ou Sensitive. Ses feuilles ont la propriété remarquable d'exécuter des mouvements lorsqu'on vient à les toucher, et ces mouvements, qui sont un phénomène vital frappant, ne se produisent plus lorsque la Sensitive a été, pendant un certain temps, soustraite au contact de l'air. La privation d'oxygène entraîne bientôt dans la plante une insensibilité complète, une véritable asphyxie, comme l'avait déjà compris, il y a plus d'un demi-siècle, le grand physiologiste DUTROCHET (1).

Cette asphyxie n'est pas toujours aussi apparente que chez la Sensitive, mais toujours elle se produit. En l'absence d'air ou plus exactement d'oxygène, toute croissance végétale cesse, les tiges ne se courbent plus vers la lumière, les boutons floraux ne s'épanouissent pas, la germination s'interrompt. L'expérience réalisée ici vous en fournit la preuve : j'ai pris une certaine quantité d'Orge en pleine germination, telle qu'on l'obtient facilement dans les brasseries, je l'ai bien humectée et, il y a quelques jours, j'en ai déposé un peu dans chacun de ces bocaux. L'un d'eux est resté ouvert, l'autre a été bien fermé au moyen d'un bou-

(1) Né en 1776 au château Néon en Poitou, mort à Paris en 1847.

chon en verre rodé. Comme vous le constatez, l'Orge mise dans le bocal ouvert a continué à se développer, les jeunes racines se sont allongées, les tiges ont déjà atteint plusieurs centimètres et commencent à verdir. Tout autre est l'aspect de l'Orge qui a été placée dans le bocal clos. Dès le second jour, la croissance a été arrêtée. En ouvrant le bocal et en laissant affluer l'air, il serait possible, au début, de faire reprendre aux jeunes plantes leur activité interrompue. Mais au bout d'un temps plus long, c'en est fait de leur vitalité : la croissance ne peut plus recommencer, les graines sont mortes.

Il y a donc entre la bougie de tout à l'heure et les êtres vivants une analogie que PRIESTLEY (1) avait aperçue, que LAVOISIER (2) démontra, et qui ne peut manquer de vous frapper. De part et d'autre, nécessité de l'air, et phénomène d'asphyxie quand l'air vient à manquer; de part et d'autre, dans la flamme de la bougie comme dans l'existence de l'être vivant, il se produit d'abord un certain tremblotement, l'activité est seulement suspendue, puis bientôt elle s'éteint. C'est avec raison que le même mot désigne à la fois la cessation de la flamme et la fin de la vie.

Là ne se borne point la ressemblance entre la combustion et la respiration. Les produits sont aussi les mêmes dans les deux cas.

Rien n'est plus facile que de démontrer la continuelle production d'anhydride carbonique, lorsqu'il s'agit de la respiration animale. L'air ordinaire contient, nous le savons, des quantités si extraordinairement minimes de ce gaz, qu'il ne peut troubler l'eau de chaux qu'avec

(1) Né en 1733 aux environs de Leeds (Angleterre), mort en 1804.
(2) Né à Paris le 16 août 1743, guillotiné le 8 mai 1794.

une extrême lenteur. Eh bien, il me suffit de faire passer à travers cette eau de chaux, au moyen d'un tube de verre, quelques bulles d'air sortant de mes poumons, pour qu'aussitôt elle se trouble et décèle encore une fois, par ce précipité blanc, la présence d'anhydride carbonique en abondance.

Le règne végétal va nous conduire à un résultat semblable.

Ces bocaux bouchés à l'émeri ont été remplis hier, jusqu'au quart environ de leur hauteur, de végétaux vivants (1). Voyons si l'atmosphère s'est modifiée de la même manière que par la respiration animale. Voici un premier bocal avec de l'Orge en germination; je l'ouvre avec précaution, j'y plonge une bougie allumée, attachée à un fil de fer : elle s'éteint immédiatement. Donc, plus d'oxygène. Un second bocal semblable au premier nous permettra de reconnaître qu'il s'est bien formé de l'anhydride carbonique. Versons-y, en effet, un peu d'eau de chaux, secouons bien afin de la mélanger avec les gaz que le bocal renferme, et le résultat n'est pas douteux : l'eau de chaux se trouble visiblement.

Les deux bocaux dont nous venons de nous servir contenaient de l'Orge en germination qui avait continué à vivoter au sein de cette atmosphère limitée et qui en avait consommé tout l'oxygène. Afin de contrôler l'exactitude de nos conclusions, il n'y a plus qu'à faire une expérience complémentaire. Dans un bocal, pareil aux autres, on a placé en même temps une même quantité d'Orge en germination, tuée par l'eau bouillante : et la bougie que j'y plonge continue à brûler. La plante morte ne respire pas. La respiration est un

(1) Il est bon de séparer les couches successives de végétaux par des rondelles de papier à filtrer humide, pour éviter qu'ils ne s'écrasent mutuellement.

acte vital qui cesse lorsqu'a cessé la vie. Un double lien unit donc la vie à la respiration : la respiration est nécessaire à l'entretien de la vie et, d'autre part, la vie est nécessaire à la production du phénomène respiratoire. (Remarquons que l'expérience avec les graines tuées ne doit pas être prolongée pendant plusieurs jours, parce que des Bactéries pourraient se développer sur les végétaux morts et dégager pour leur compte de l'anhydride carbonique.)

Des expériences semblables ont été faites avec d'autres végétaux. Ici, nous avons des Pommes de terre coupées en morceaux; ce bocal-là contient des fleurs (des têtes de Chrysanthèmes, par exemple) en train de s'épanouir. J'ouvre, j'introduis la bougie : elle s'éteint. Même expérience avec des Pommes de terre ou des fleurs tuées par l'eau bouillante : la bougie continue à brûler.

Pour ne pas nous en tenir aux végétaux supérieurs, voici un bocal dans lequel on a mis des Champignons vivants : l'extinction de la bougie vous montre qu'eux aussi ont respiré et rendu l'air impropre à la combustion.

Enfin, on peut également constater la consommation d'oxygène par de jeunes branches munies de leurs feuilles; mais ici, pour des raisons que nous comprendrons plus tard, il faut que le bocal soit laissé dans l'obscurité.

Il serait facile de vous prouver, au moyen de l'eau de chaux, que tous ces bocaux où la bougie s'éteint renferment bien de l'anhydride carbonique. Mais à quoi bon prolonger des expériences que chacun de vous peut répéter sans peine, car elles s'exécutent avec les appareils les plus simples, et n'exigent pas beaucoup de temps? Quoique les phénomènes de la physio-

logie végétale soient extrêmement lents en comparaison de ceux du règne animal, il ne faut pas plus de quelques heures en été, un jour en hiver, pour que la provision d'oxygène de nos bocaux soit épuisée par les plantes que nous y avons mises.

Nous nous sommes attachés jusqu'ici à la production d'anhydride carbonique dans la respiration des végétaux. C'est le phénomène essentiel. Il y a aussi formation de vapeur d'eau, mais il faudrait des pesées très précises pour la démontrer. Obligés d'humecter nos plantes dans toutes ces expériences, nous ne pouvons, en effet, tirer aucune conclusion de la buée qui se dépose sur la paroi intérieure des récipients.

La respiration des végétaux est, comme vous avez dû le constater, un phénomène général, et plus nous multiplierions nos expériences, plus nous pourrions nous convaincre de sa généralité. « Aucun acte, a dit Claude Bernard (1) dans un de ses meilleurs ouvrages (2), aucun acte parmi ceux qu'exécute l'organisme ne présente à un égal degré ces deux attributs fondamentaux : l'universalité et la continuité. Non seulement la plante entière, mais chacun de ses organes, chaque fragment de ses tissus, chacune des innombrables cellules vivantes qui la composent a besoin d'une certaine quantité d'oxygène et dégage en échange une quantité correspondante d'anhydride carbonique : les racines aussi bien que les tiges, les feuilles comme les fleurs. »

C'est là, pour le dire en passant, l'explication de plusieurs pratiques importantes de l'agriculture, sur

(1) Né à Saint-Julien, près Villefranche (Rhône, France), le 12 juillet 1813, mort à Paris le 10 février 1878.

(2) *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*. Paris, 1878-1879, 2 volumes in-8°.

lesquelles nous aurons à insister un autre jour. Les parties aériennes des plantes ont naturellement assez d'air à leur disposition; mais il n'en est pas de même pour les parties souterraines. Dans les terrains denses, compacts, aussi bien que dans les terrains très humides où séjourne une couche d'eau stagnante, il arrive fréquemment que l'air manque aux racines. En drainant la terre, en l'émiettant au moyen de la charrue et de la herse, le cultivateur a pour but de la rendre plus meuble, il facilite le passage de l'air entre les particules solides et fait pénétrer ainsi jusqu'au niveau où s'enfonceront les racines les plus profondes, une quantité d'oxygène suffisante pour entretenir leur respiration. [Mieux le sol est ameubli et aéré, plus les racines pourront aller profondément.]

Quant aux plantes aquatiques, il va de soi qu'elles respirent également. Il en est dont les feuilles flottent à la surface de l'eau et se trouvent en contact avec l'air par une de leurs faces. D'autres, complètement submergées, doivent se contenter, comme les Poissons, de l'oxygène en dissolution. Car l'eau ne dissout pas seulement des corps solides, mais encore des gaz. L'azote, l'oxygène, l'anhydride carbonique — ces deux derniers surtout — s'y dissolvent en proportion notable. [La plupart des végétaux aquatiques ont d'ailleurs de grandes lacunes dans leurs tissus, dans lesquelles ils emmagasinent une réserve gazeuse riche en oxygène, qu'ils peuvent utiliser et que l'assimilation chlorophyllienne renouvelle.]

II

Voilà la généralité du phénomène démontrée. Quelle en est la signification? A quoi sert aux végétaux et aux

animaux d'emprunter de l'oxygène à l'atmosphère qui les baigne et d'y verser une quantité correspondante de vapeur d'eau et d'anhydride carbonique, en un mot de brûler sans cesse?

Pour le comprendre, il est nécessaire de rappeler cette grande loi établie par la physique moderne, que le travail, pas plus que la matière, ne peut se créer. Il est impossible de produire du travail sans une dépense équivalente. Considérez cette horloge dont les aiguilles cheminent, régulières, sur le cadran des heures. N'allez pas croire que le travail qu'elles accomplissent ainsi soit gratuit : non, elles ne font que dépenser peu à peu le travail ou, comme on dit aussi, l'énergie que nous avons emmagasinée dans l'horloge, soit en soulevant le poids, soit en tendant le ressort (1).

Quand nous voyons la locomotive s'élancer sur les rails avec une vitesse effrayante, quand, au fond de la mine, la machine perforatrice perce les roches les plus dures, nous savons bien que le mouvement de la locomotive, le travail de la machine ne sont pas obtenus sans dépense de force. Derrière la perforatrice comme sous la locomotive, il y a un foyer, et la marche de l'une comme de l'autre est liée à son activité. Elles ne fonctionnent que si l'on charge le foyer, si de nouvelles quantités de charbon sont incessamment brûlées; car c'est précisément la force que cette combustion dégage qui — par l'intermédiaire de la vapeur d'eau ou de l'air comprimé, peu importe — sert à produire le travail et de la locomotive et de la perforatrice.

Les êtres vivants n'échappent pas à cette loi. Qu'un

(1) *Energie* signifie, en physique, la capacité de produire du travail.

animal dépense de la force sous une forme quelconque, qu'il se meuve ou qu'il pense, qu'un végétal fasse pénétrer avec effort ses racines entre les particules les plus résistantes du sol, qu'il élève verticalement sa tige ou qu'il l'incurve vers la lumière, jamais le travail de l'organisme n'est gratuit. Il n'est possible, comme celui de la machine, que si l'animal et la plante ont à leur disposition de l'énergie. Dans le règne végétal, cette énergie peut provenir de sources diverses. La chaleur solaire, les forces connues en physique sous les noms d'imbibition, osmose, tension superficielle, y entrent pour une large part. Mais une part notable de cette énergie dérive de la destruction, de la combustion, de l'oxydation d'une certaine quantité de matière. Et les expériences sur l'asphyxie de la Sensitive ou de l'Orge nous ont appris qu'il est indispensable qu'une partie de l'énergie ait cette origine. A ce point de vue, on peut affirmer que la respiration donne l'impulsion fondamentale à toutes les dépenses de force, à tous les dégagements d'énergie, à toutes les manifestations vitales dont les êtres nous offrent le spectacle.

Comme l'organisme dépense de la force pendant toute sa vie, la respiration, source primaire de cette force, doit marcher toujours, — pareille à la combustion qui s'accomplit dans le foyer de la machine. Et de même que, par la cheminée de la locomotive, s'échappent constamment de nouvelles bouffées de fumée, c'est-à-dire de la vapeur d'eau et de l'anhydride carbonique, ainsi, par les poumons des animaux, par la surface des organes des plantes, se dégagent dans l'atmosphère environnante des quantités sans cesse renouvelées de vapeur d'eau et d'anhydride carbonique.

III

Chez les animaux supérieurs, l'identité de la respiration avec la combustion est rendue plus sensible encore par la production de chaleur. Ce sont des animaux à sang chaud, ce qui signifie que, malgré des variations considérables dans la température ambiante, ils maintiennent avec une étonnante fixité leur température propre. L'Homme et la plupart des Mammifères ont ainsi une température qui oscille aux environs de 37 degrés centigrades; la température des Oiseaux est encore plus élevée : elle dépasse 40 degrés.

La chose peut sembler moins claire chez les Poissons, les Reptiles, les Insectes, les Mollusques, chez tous les animaux que l'on désigne sous le nom d'animaux à sang froid. Ceux-là n'ont point la température élevée et constante, caractéristique des Mammifères et des Oiseaux. On se tromperait cependant en croyant qu'ils ne présentent rien d'analogue. Pour peu qu'on les soustraie à la perpétuelle déperdition de chaleur qu'entraînent le contact de grandes quantités d'eau froide, l'évaporation, le rayonnement par leur surface, on constate qu'ils dépassent aussi, dans une certaine mesure, la température du milieu. Tout comme les animaux supérieurs, mais à un moindre degré, ils dégagent du calorique.

Bien des personnes se figurent qu'il en est autrement pour les plantes. Essayons donc de mettre clairement en évidence ce corollaire de la respiration : le dégagement de chaleur.

Il y a chez les végétaux des causes de refroidissement toutes particulières qui masquent, en général,

le phénomène et font descendre la température de la plante au-dessous de celle de l'air environnant. Songez à la surface énorme et à la faible épaisseur de leurs feuilles, songez surtout à leur transpiration intense et presque aussi continue que la respiration elle-même.

Néanmoins, dans certains organes végétaux, la production de chaleur est tellement forte qu'il n'est pas besoin d'expériences précises pour la rendre manifeste. Cela s'observe dans diverses Aracées, dans les fleurs du *Victoria regia*, dans celles de plusieurs Cycadacées.

L'*Arum maculatum*, vulgairement appelé Pied-de-veau, dont je vous montre ici un spécimen, n'est pas rare dans nos bois. Ses fleurs sont insérées en grand nombre à la base d'une colonne ou spadice, qui se termine en haut par une sorte de massue et qu'enveloppe une grande feuille en cornet, la spathe. Pendant la floraison, les fleurs et la massue terminale respirent avec une énergie inaccoutumée et s'échauffent d'une façon très vive, au point, comme dit Lamarck, de paraître brûlantes; leur température dépasse alors de 5 et même 10 degrés celle de l'air. C'est précisément dans le Pied-de-veau que la production de chaleur par les plantes a été découverte par Lamarck (1), vers la fin du siècle dernier, et étudiée, peu après, par Senebier (2). On a constaté dans d'autres Aracées (*Colocasia odora*, etc.) des échauffements encore plus considérables. Ces échauffements sont strictement liés à la présence d'oxygène.

Lorsque l'accumulation d'un grand nombre de végétaux dans un espace restreint s'oppose à ce qu'ils se

(1) Le chevalier de Lamarck, [illegible] Bargentin (Somme, France), en 1744, et mort à Paris en 1829.

(2) Né à Genève en 1742, mort dans cette ville en 1809.

refroidissent par rayonnement et par évaporation, il arrive aussi que l'on puisse sentir un échauffement bien net. Dans les parties des malteries et des brasseries où se trouve réunie une grande quantité d'Orge germante, la température est toujours de plusieurs degrés plus élevée que dans les autres locaux.

La même chose s'observe dans la fermentation. Le mot l'indique déjà, puisqu'il dérive de *fervere*, être échauffé, bouillonner. La fermentation, vous le savez, est due au développement et à l'activité de certains organismes végétaux microscopiques qu'on appelle des ferments. Dans la fermentation alcoolique, où les matières sucrées sont transformées en alcool et qui est l'opération essentielle de la fabrication du vin et de la bière, les phénomènes vitaux du ferment sont très énergiques et l'échauffement est considérable : il atteint souvent une douzaine de degrés centigrades. Et (pour nous rappeler en quelque sorte la source de cette chaleur), dans le liquide en fermentation, des bulles gazeuses s'élèvent sans cesse, qui ne sont autre chose que de l'anhydride carbonique — ce même gaz que la combustion et la respiration engendrent. Car la fermentation, comme nous le dirons tantôt, se rattache à la respiration et n'en est qu'une forme exagérée.

Même en dehors des conditions favorables qui nous sont offertes par certains organes des Aracées, par les fermentations, par la germination en masse de l'Orge dans les brasseries, il est possible, avec un peu de soin, de démontrer l'échauffement respiratoire. Voici un petit thermomètre différentiel de construction spéciale. C'est un tube six fois recourbé à angle droit, dont la forme rappelle vaguement celle d'un M majuscule. Il est terminé à chaque extrémité par une boule. La partie moyenne du tube est occupée par une colonne

de liquide coloré, et vous comprenez sans peine que si l'une des boules est chauffée plus que l'autre, c'est-à-dire si l'air qu'elle renferme se dilate davantage, cet air va refouler devant lui la colonne liquide ; le niveau ne sera plus le même dans les deux branches de l'appareil, et c'est du côté le plus chaud que le niveau sera le plus bas. L'appareil est très sensible et décèle facilement des écarts de température d'une petite fraction de degré ; les divisions qu'il porte répondent chacune environ à quatre centièmes de degré centigrade.

Dans l'appareil tel qu'il est disposé devant vous, les boules sont en contact, l'une avec de l'Orge en germination, l'autre avec de l'Orge pareille, mais qui a été tuée par l'eau bouillante et étalée ensuite, pendant vingt-quatre heures au moins, sur une table, pour qu'elle refroidisse complètement (1).

L'Orge vivante a continué à respirer, elle a produit de la chaleur par l'effet de sa respiration, tandis que l'Orge tuée a subi passivement la température ambiante. Comme preuve de ce contraste, vous apercevez une différence de niveau très appréciable entre les deux branches du tube. Dans l'expérience qui est sous vos yeux, le thermomètre différentiel indique pour l'Orge vivante un échauffement de 1/3 de degré centigrade; quand la germination est très active, on obtient 1 degré et plus.

Nous pourrions employer, au lieu de l'Orge, toute autre graine en germination, ou des boutons floraux en train de s'épanouir, ou des Champignons, bref, des organes végétaux quelconques que l'on réunirait en

(1) Ce dernier point est essentiel, car les graines d'Orge, une fois chauffées, restent très longtemps chaudes.

grand nombre autour des boules de notre thermomètre, et nous pourrions chaque fois nous convaincre du même fait : les tissus qui respirent dégagent de la chaleur, ceux qui ont été tués n'en dégagent pas.

IV

Quelques êtres vivants ne produisent pas seulement de la chaleur par suite de l'oxydation de leur substance, mais encore de la lumière. On les appelle : animaux ou végétaux phosphorescents. Il y a, vous le savez, dans notre pays, des Insectes phosphorescents, tels que les Lampyres, [qui, le soir, à l'époque des fortes chaleurs, volent en projetant une lueur légère. Ce sont les mâles seuls qui volent. Les femelles, encore plus lumineuses, sont privées d'ailes. Les larves, elles aussi, émettent de la lumière : on les appelle communément des Vers luisants.]

Ceux qui ont passé quelque temps au bord de la mer connaissent aussi ce feu vivant (pour parler comme DE HUMBOLDT) (1) dans sa manifestation la plus grandiose : la phosphorescence de la mer. Elle s'observe assez souvent dans la mer du Nord; elle est toujours due à des êtres vivants (2).

Les organismes marins doués de phosphorescence sont variés : il s'en trouve parmi les Méduses, les Étoiles de mer, les Tuniciers (Pyrosomes), les Poissons; mais celui qui joue le rôle prépondérant sur nos côtes est sans contredit un Flagellate qu'on appelle Noctiluque. Étudiées au microscope, les Nocti-

(1) ALEXANDRE, baron DE HUMBOLDT, né à Berlin en 1769, mort en 1859, auteur du *Cosmos*, des *Tableaux de la nature*, etc. Dans ce dernier ouvrage, il consacre un chapitre intéressant à la phosphorescence de la mer.

[(2) Une description de la phosphorescence qui suivait a été supprimée et [illegible] dans le volume [illegible] de cette même collection.]

luques présentent un corps arrondi, translucide, de la forme d'une pêche ; une enveloppe les protège ; du sillon de la pêche naît un fouet microscopique qui leur sert sans doute de gouvernail.

Le phénomène de la phosphorescence n'est pas limité au règne animal ; ici, comme en d'autres domaines, le parallélisme se manifeste entre les deux règnes organiques et les mêmes faits se retrouvent.

On connaît aujourd'hui bon nombre de végétaux lumineux ; tous appartiennent aux groupes inférieurs du règne végétal.

Il y a plusieurs Bactéries phosphorescentes. La mieux étudiée est celle que Pflüger (1) a découverte en 1875 et à laquelle on a donné le nom de *Micrococcus phosphoreus*. Les Poissons marins se recouvrent assez souvent, après leur mort, d'une couche de mucus lumineux ; l'examen microscopique montre qu'il est formé par des myriades d'individus de cette Bactérie.

On a aussi constaté que la viande de boucherie peut devenir phosphorescente. Le phénomène est plus rare et, comme de juste, son apparition sporadique, imprévue, l'a fait tenir jadis pour miraculeux. Mais le microscope est un grand destructeur de surnaturel. Nous savons maintenant que la phosphorescence de la viande est due à une Bactérie et, qui plus est, à la même Bactérie que la phosphorescence du Poisson ; il suffit qu'un peu de germes lumineux soient transportés, par hasard, du marché au poisson à l'étal du boucher. C'est là tout le miracle. Pour le produire artificiellement, il n'y a qu'à déposer sur une côtelette crue un fragment d'écaille de Poisson phosphorescent ; la Bactérie est ainsi transplantée, et la phosphorescence avec elle.

(1) Actuellement professeur de physiologie animale à l'Université de Bonn ; né le 7 juin 1829.

A côté des microbes, la phosphorescence existe chez des Champignons. Parfois, des morceaux de bois pourri présentent, pendant la nuit, une lueur phosphorescente, due à des filaments ramifiés, qui ont plus ou moins l'aspect de racines. On désigne ces filaments sous le nom scientifique de rhizomorphes. Ils s'étendent en tous sens dans le bois attaqué, sous forme de cordons brunâtres qui donnent naissance, çà et là, à de jeunes rameaux délicats, incolores; ces derniers seuls sont le siège du phénomène. Leur phosphorescence est assez intense. Elle dure pendant des semaines sans interruption. On ne la remarque que la nuit, mais il suffit, à un moment quelconque, de mettre le morceau de bois dans un endroit obscur pour le voir briller.

On a établi, il n'y a pas longtemps, que ces rhizomorphes appartiennent à un Champignon très connu, l'Agaric miellé (*Agaricus melleus*), l'un des ennemis les plus dangereux des forêts de Conifères.

En dehors de l'Agaric miellé, notre flore ne comprend que peu de Champignons phosphorescents; on en cite quelques-uns dans le Midi de l'Europe et plusieurs dans les régions tropicales. On trouve, par exemple, près de la Méditerranée, l'Agaric des Oliviers (*Agaricus olearius*), ainsi nommé parce qu'il pousse d'ordinaire au pied de ces arbres; sa phosphorescence très forte est visible à un millier de pas. Un Agaric du Brésil (*Agaricus Gardneri*) est plus brillant encore : on assure même avoir pu lire à la lumière de ce vivant flambeau.

V

Il nous faut revenir un moment à notre bougie. Nous savons tous qu'elle diminue en brûlant : sa substance

s'en va en fumée, elle se consume. En cela encore, elle nous offre une image fidèle de l'être vivant.

Pareils à la bougie, animaux et plantes émettent, par suite de leur respiration, de l'anhydride carbonique et de la vapeur d'eau, l'un composé d'oxygène et de carbone, l'autre formée d'oxygène et d'hydrogène. L'air intervient en fournissant de l'oxygène, mais il est clair que les deux autres éléments — l'hydrogène et le carbone — ne peuvent provenir que de la matière organique. Celle-ci fournit même d'ordinaire une partie de l'oxygène employé.

La conclusion à tirer de là est évidente : la respiration fait diminuer le poids de l'organisme. Elle lui enlève constamment des parcelles de sa substance.

Le fait est facile, d'ailleurs, à démontrer par l'expérience directe. On prend une graine, on la pèse, puis on la fait germer et on pèse de nouveau, en déduisant naturellement l'eau dont on l'a arrosée ; on constate toujours qu'après la germination, qui est accompagnée d'une respiration énergique, la jeune plante issue de la graine, tout en étant bien plus volumineuse qu'elle, pèse beaucoup moins. Le poids de la matière sèche, comme on dit, a diminué ; il y a eu perte d'hydrogène, perte de carbone et, le plus souvent aussi, perte d'une certaine quantité d'oxygène.

Donc, de quelque façon que nous envisagions la question, notre comparaison se confirme. La bougie n'éclaire, l'organisme ne vit — qu'en se consumant. Toute activité est une destruction. C'est à la vie qu'on peut appliquer en vérité ce que Henri Heine disait au figuré en parlant de l'enthousiasme du poète : « Toute flamme se sacrifie elle-même ; plus elle jette d'éclat, plus elle marche vers son extinction et vers sa fin. »

VI

Il y a pourtant un écueil à éviter. Il ne faudrait pas croire qu'une comparaison suffit à expliquer un fait physiologique. Tout en voyant très bien que la respiration est une oxydation, que la matière organique représente le combustible, et que l'anhydride carbonique et la vapeur d'eau en sont les produits comburés, nous ignorons les détails du mécanisme. La physiologie des végétaux et celle des animaux se trouvent en face d'un même problème respiratoire à résoudre. Nous devons nous borner à le signaler ici en quelques mots.

Pour que le charbon, pour que la bougie, pour qu'un ragment de bois ou un morceau de sucre brûlent, il faut qu'ils soient élevés à une très haute température. Comment se fait-il que la matière vivante, qui possède une composition chimique analogue, brûle à froid, que la combustion respiratoire s'y accomplisse déjà à la température d'une quarantaine de degrés pour les animaux supérieurs, à une température plus basse encore s'il s'agit des animaux inférieurs et des plantes? Il est vrai que la respiration ne porte à chaque instant que sur un petit nombre des particules qui composent l'organisme, de sorte que la température globale ne nous renseigne point sur la température de ces particules mêmes au moment où elles brûlent. Peut-être — suivant une remarque ingénieuse de Pflüger et d'Engelmann (1) — atteignent-elles à ce moment une température extrêmement élevée, une véritable incan-

(1) Actuellement professeur de physiologie à l'Université de Berlin.

descence, car elles constituent, comme le dit ce dernier, de tout petits poêles qui chauffent un grand édifice dont nous n'observons que la température moyenne. Mais encore cette supposition n'écarterait-elle pas la difficulté principale : pourquoi les matériaux dont est bâti l'être vivant ne sont-ils plus brûlés par l'oxygène atmosphérique quand nous les isolons de l'être vivant? Pourquoi l'oxydation respiratoire cesse-t-elle après la mort? Cela prouve évidemment que des conditions spéciales sont réalisées dans l'organisme, qu'il y a des différences d'ordre chimique entre un tissu vivant et le même tissu mort, mais nous ne sommes pas, jusqu'ici, en état de préciser en quoi ces conditions spéciales et ces différences chimiques consistent. Des hypothèses ont été émises à ce sujet, certaines probabilités commencent à se dessiner, mais rien encore n'est définitivement établi.

De même, la respiration doit être accompagnée dans les organismes phosphorescents de réactions chimiques particulières, puisque d'autres organismes, qui respirent tout aussi énergiquement, ne sont pas lumineux.

VII

Nous avons dit au début de cette leçon que tous les êtres vivants ont besoin d'oxygène pour vivre. L'énoncé est exact, mais il réclame un complément d'explication.

En l'absence d'air, un organisme ne meurt pas tout de suite. Il supporte généralement cette privation d'autant plus longtemps qu'il est de structure plus simple, que ses rouages sont moins compliqués. L'ani-

mal à sang chaud succombe après peu de minutes, l'animal à sang froid (la Grenouille, par exemple) résiste bien davantage, la plupart des plantes peuvent continuer à vivre ainsi des jours ou même des semaines et, comme nous allons le voir, certains êtres inférieurs sont encore plus endurants.

Mais voici le plus curieux. Non seulement l'animal ou le végétal privés d'oxygène peuvent rester vivants pendant assez longtemps, mais ils continuent à dégager de l'anhydride carbonique. Ce dégagement dure autant que leur vie même; sitôt qu'il s'arrête, un retour à l'air ne les sauve plus : ils sont morts.

Dans la respiration normale, nous savons que l'anhydride carbonique provient de la combinaison de l'oxygène de l'atmosphère avec le carbone de la substance organique, tandis qu'ici, c'est évidemment aux organismes seuls de fournir à la fois et l'oxygène et le carbone, c'est à l'intérieur des particules qui les constituent que la respiration se passe tout entière. Comme on désigne, en chimie, sous le nom de molécules, les particules les plus petites des corps composés, la respiration continuée en l'absence d'oxygène libre a été appelée respiration intramoléculaire. Il y a là quelque chose de comparable à l'explosion de certaines substances, telles que la nitroglycérine, qui fournissent elles-mêmes l'oxygène nécessaire à leur combustion.

Cette faculté d'arracher l'oxygène à quelques-unes de ses combinaisons pour l'engager dans une combinaison nouvelle qui est l'anhydride carbonique, plusieurs organismes végétaux l'ont portée à un degré extrême : ce sont certains ferments. Ils produisent ainsi de vastes effondrements de molécules, non seulement dans leur propre substance, mais encore autour d'eux.

A côté de l'anhydride carbonique, la respiration intramoléculaire fait apparaître des produits accessoires nouveaux qui manquent dans la respiration normale. Le plus important d'entre eux est l'alcool ordinaire.

Beaucoup de fermentations se rattachent, en cela aussi, à la respiration intramoléculaire. Tantôt le produit principal auquel elles donnent naissance, en même temps qu'à l'anhydride carbonique, est également l'alcool, tantôt c'est l'acide butyrique, tantôt l'acide lactique ou l'ammoniaque. Et l'on parle, suivant le cas, de fermentation alcoolique, butyrique, lactique ou ammoniacale.

Envisagés de cette manière, les ferments ne font point exception à la règle générale. Ils ont besoin d'oxygène, comme les autres végétaux. Seulement, ils peuvent se passer d'oxygène libre, parce qu'ils sont très habiles à soustraire l'oxygène à telle ou telle de ses combinaisons. La respiration intramoléculaire, qui n'est d'ordinaire qu'un phénomène anormal, un pis-aller, est ici suffisamment intense pour fournir au ferment tout l'oxygène et toute l'énergie qu'il lui faut et lui permettre, au besoin, de vivre, de croître, de se multiplier indéfiniment en l'absence d'air, comme Pasteur l'a démontré le premier (1).

Pour les ferments dont nous nous occupons, la fermentation devient ainsi un succédané de la respiration; c'est grâce à elle qu'ils peuvent vivre sans air, en anaérobies, suivant le mot de Pasteur. Quelques-uns d'entre eux sont même si acclimatés, si adaptés à ce genre de vie, qu'ils se trouvent moins bien en présence d'oxygène libre que lorsqu'il n'y en a pas.

1. Louis Pasteur, né à Dole (Jura, France), en 1822, mort à Paris en 1895.

Mais tous les ferments ne rentrent pas dans la catégorie dont nous venons de parler. Il en est, au contraire, qui transportent avec énergie l'oxygène atmosphérique sur certaines des substances qui les environnent. On peut les nommer ferments oxydants. Tel est le ferment acétique qui transforme, par oxydation, l'alcool en vinaigre; le ferment nitrifiant qui transforme, par oxydation, les matières azotées en nitrates, etc.

Si les fermentations du premier type se ramènent à une respiration intramoléculaire excessive, celles-ci se rattachent plutôt à une exagération de la respiration normale. [On voit ainsi que le terme « fermentation » est plutôt descriptif que scientifique : il s'applique à des phénomènes dont la nature intime est assez variée.]

VIII

Jusqu'ici nous avons toujours supposé que, dans la combustion respiratoire, l'être vivant brûle des composés carbonés, de même qu'une machine à vapeur fonctionne par la combustion du charbon. Mais on pourrait, à la rigueur, concevoir une machine qui serait alimentée par autre chose que du charbon et rien non plus ne s'oppose d'une façon absolue à ce qu'il existe des êtres vivants chez lesquels la respiration se fasse aux dépens d'autres éléments que les éléments habituels.

C'est ce qui parait avoir lieu chez quelques végétaux très inférieurs, du groupe des Bactéries, habitant les eaux croupissantes et les sources sulfureuses, où ils forment les dépôts glaireux, blanchâtres, connus sous

les noms de glairine et de barégine. En langage technique, ce sont des Bactéries sulfuraires ou Sulfobactéries, ainsi nommées parce qu'elles contiennent dans leurs tissus une quantité souvent considérable de granules de soufre. Ces organismes ont fait, dans les dernières années, l'objet d'études extrêmement intéressantes. Diverses expériences ont conduit à l'opinion que les Sulfobactéries respirent en brûlant du soufre, comme les êtres ordinaires brûlent des composés carbonés. Ce qui semble certain, c'est que le soufre est indispensable à leur développement et qu'il s'oxyde pendant toute leur vie en donnant de l'acide sulfurique ; on le retrouve alors dans l'eau ambiante sous forme de sulfate. On comprendrait ainsi comment ces organismes peuvent se multiplier dans des milieux où il y a si peu de carbone à leur disposition.

Encore une fois, la chose, en théorie, n'a rien d'impossible. C'est comme si nous chargions le foyer de la locomotive au moyen de soufre, au lieu de charbon. La marche de la machine resterait la même, il n'y aurait que le combustible de changé.

IX

L'enchaînement des phénomènes que nous avons étudiés jusqu'ici va maintenant nous apparaître dans toute son évidence.

L'être vivant, aussi longtemps qu'il vit, dépense de la force. Cette force, il ne peut la créer : il faut qu'il la tire de quelque part, et il la trouve, au moins en partie, dans la combustion dont il est incessamment le siège. Il brûle des parcelles de sa propre substance, afin d'entretenir les manifestations de sa vie. Il sacrifie

constamment une portion de la matière dont il est formé. Ainsi, de toute nécessité, la vie use et détruit le vivant.

Nous voilà revenus à notre point de départ et capables d'envisager sous cet autre aspect le rôle de la nutrition. Elle n'est pas seulement nécessaire pour ajouter de nouvelles assises à l'édifice vivant. Nous constatons dès à présent une première brèche, une brèche profonde qui doit se produire sans cesse dans l'organisme pour qu'il vive, et qu'il doit réparer sous peine de mort : c'est la brèche respiratoire.

Il faut donc pour l'être vivant, comme pour la machine, que l'on charge le foyer ; la nutrition lui est indispensable non seulement pour qu'il s'accroisse, mais déjà pour qu'il se conserve.

DE GRÂCE, DES NOMS LATINS! (1)

Aux idées de fraternité humaine et de solidarité des peuples que de grands philosophes et, après eux, de grandes révolutions avaient répandues dans le monde, succède aujourd'hui un peu partout un revirement profond.

On ne peut se défendre d'un sentiment de tristesse en voyant de tous côtés se relever des barrières qu'on croyait abattues pour toujours : barrières de pierre et barrières morales, forteresses et droits prohibitifs, rivalités de classes, haines de races; il semble que chaque nation, chaque groupe d'hommes, chaque association d'intérêts en arrive, dans notre fin de siècle, à syndiquer ses égoïsmes et à s'isoler de plus en plus. Comme si le progrès ne consistait pas pour les sociétés, aussi bien que pour les organismes, à développer les liens de sympathie entre les divers organes, à multiplier les points de contact avec toute la nature ambiante!

Au milieu de cet effondrement graduel de tant de beaux rêves, un espoir nous reste. Les conflits politiques ou économiques auront beau diviser les hommes, la science les unit. Elle n'est ni gauloise, ni germaine, ni slave, ni anglo-saxonne, ni arabe, ni aryenne : elle est humaine. Les savants de tous pays et de toute race collaborent à une œuvre commune.

1 Ce travail a paru dans le *Bulletin de la Société royale de Botanique de Belgique*, t. XXX, p. 164, 19 juillet 1891.

Il faut donc qu'ils puissent se comprendre, échanger facilement leurs idées, se faire part de leurs découvertes. Sans doute, il serait utile d'avoir une langue scientifique universelle — latin, nov-latin, volapük, peu importe. Mais un tel idéal ne paraît pas réalisable, au moins d'ici à longtemps, et il faut se contenter d'une solution transactionnelle. On peut dire qu'il n'y a guère de naturaliste aujourd'hui qui ne lise sans trop de peine un travail de sa spécialité, rédigé en français, en allemand, en anglais, en italien ou en latin. C'est ce qu'ont très bien compris beaucoup de savants de premier ordre de la Russie, de la Scandinavie, de la Hollande, du Japon. Ils ont adopté, pour leurs publications, l'une de ces cinq langues et ils ont eu raison, doublement raison : car ils rendent service à la fois à la majorité de leurs lecteurs, et surtout à eux-mêmes dont les idées deviennent ainsi accessibles à tous et entrent d'emblée dans le grand patrimoine de la science.

Mais il est un point sur lequel une entente plus complète encore semblait réalisée : c'est la nomenclature des espèces animales et végétales. Depuis Linné, il est admis sans conteste que cette nomenclature doit être binominale et latine. Cela est indispensable. Il faut que l'on sache tout de suite de quelle forme vivante un confrère étranger veut parler. S'il désigne, au contraire, les espèces par des noms vulgaires, il nous oblige à recourir sans cesse au dictionnaire — où nous ne trouverons, le plus souvent, que des renseignements incomplets ou inexacts.

Ces remarques paraissent banales à force d'être évidentes. En cette matière, on aurait pu croire, en effet, toute divergence devenue impossible. Aussi est-ce avec étonnement et regret que l'on a vu depuis

quelques années, non pas des livres élémentaires, mais des ouvrages de haut enseignement et même des mémoires originaux se servir, pour les animaux et pour les plantes, de noms vulgaires.

Pourquoi veut-on m'obliger à savoir que « Herbstwasserstern » signifie *Callitriche autumnalis*, que « Habichtskraut » désigne tantôt le *Barbarea vulgaris*, tantôt un *Hieracium*, ou l'*Hypochoeris maculata*, ou le *Sisymbrium Sophia*, ou le *Taraxacum officinale*, et que « Gundermann » est l'un des huit noms allemands du *Glechoma hederacea*, tandis que « falscher Gundermann » représente le *Veronica Teucrium ?* De même, je ne vois aucune sorte d'avantage à dire « Echinocacte », « Anthure », « Brésillet », « Gymnogramme leptophylle », « Aspide en faux », « Cornifle », « Vaquois », « Pesse » (1), « Chalef », au lieu de *Echinocactus, Anthurium, Caesalpinia, Gymnogramme leptophylla, Aspidium falcatum, Ceratophyllum, Pandanus, Picea, Elaeagnus*.

Il est vrai que la plupart des auteurs qui pratiquent cette innovation mettent encore souvent les noms latins entre parenthèses. Mais la mode nouvelle n'en est qu'à ses débuts et, si l'on ne réagit pas, l'on doit s'attendre à voir bientôt disparaître cette inconséquence salutaire. De toute façon, les noms vulgaires encombrent dès à présent le texte et fatiguent l'attention du lecteur. Que dirait-on du chimiste qui s'amuserait à nous parler de « fleurs de zinc » ou de « laine philosophique » quand il s'agit de l'oxyde de zinc?

[(1) Dans le *Traité de Botanique* de VAN TIEGHEM, daté de 1891, « Pesse » signifie *Hippuris* (p. 1838) ; dans *Eléments de Botanique*, du même auteur, qui porte la même date (vol. II, p. 507), « Pesse » signifie *Picea*. Mais l'auteur a oublié de temps en temps ce changement de sens : ainsi dans le volume I du second ouvrage, p. 168, « Pesse » signifie encore *Hippuris*.]

Et encore, si l'on se servait seulement des noms vulgaires lorsqu'ils existent et qu'ils sont très connus, cela pourrait passer. Mais les créer de toutes pièces pour les substituer ensuite aux noms latins admis partout, voilà qui n'a pas même un semblant d'excuse.

Il est donc temps de protester. La question n'est puérile qu'en apparence et les esprits clairvoyants ont le droit de s'alarmer. Car il s'agit ici d'une atteinte à la forme la plus précieuse du libre-échange : le libre-échange scientifique.

De grâce, des noms latins!

LES BASES SCIENTIFIQUES DE L'AGRICULTURE (1)

LEÇON I

I. — Les Éléments

1. — Un morceau de *craie* ou de *marbre blanc* se décompose par une forte chaleur en deux substances : de la *chaux vive,* et un gaz invisible comme l'air, incolore, connu par tout le monde comme cause du pétillement des eaux gazeuses ou de la bière : l'*acide carbonique anhydre* ou *anhydride carbonique*.

2. — Par des procédés chimiques appropriés, la chaux vive se dédouble à son tour en une sorte de métal appelé *calcium* et un gaz, l'*oxygène;* de même, l'anhydride carbonique se dédouble en *oxygène* et en *carbone*. De là le nom de *carbonate de calcium* donné à la substance qui constitue le marbre blanc ou la craie.

3. — Si l'opération a été bien conduite, il est clair que le poids total des produits obtenus devra être précisément égal au poids de la craie employée. C'est ce que l'expérience confirme : 100 grammes de craie donnent toujours 56 grammes de chaux vive et 44 grammes d'anhydride carbonique. Ces 56 grammes de chaux renferment 40 grammes de calcium et 16 grammes d'oxygène ; les 44 grammes d'anhydride carbonique en renferment 32 d'oxygène et 12 de carbone.

$$\text{Or : } 40 + 16 + 32 + 12 = 100.$$

(1) Deuxième édition du Syllabus du cours donné pour la première fois en 1893 à Quévaucamps, sous les auspices de l'Extension de l'Université libre de Bruxelles.

4. — Il n'est pas possible d'aller plus loin, et notre analyse se trouve ainsi achevée. Tandis que la craie, la chaux vive, l'anhydride carbonique sont des *corps composés*, le calcium, le carbone et l'oxygène sont donc des *corps simples* ou *éléments*, c'est-à-dire que l'on ne possède jusqu'ici aucun moyen de les décomposer ou de les transformer en autre chose. Cette distinction est la base même de la chimie.

5. — Une étude analogue nous apprendrait que l'*eau* est formée par l'union de deux gaz : l'*oxygène* et l'*hydrogène*, dans le rapport de 8 grammes du premier pour 1 gramme du second; et que 100 litres d'*air* bien sec contiennent, essentiellement, 21 litres environ d'*oxygène* et un peu moins de 79 litres d'un autre gaz, l'*azote*.

6. — Malgré la variété presque infinie des objets qui nous environnent : roches et terres, fleuves et océans, plantes et animaux, le nombre des corps simples auxquels tout se ramène est extrêmement petit. On en connaît aujourd'hui soixante-dix-huit, dont une bonne trentaine, très rares, ne jouent dans la nature qu'un rôle effacé. Une quarantaine d'éléments suffisent donc à constituer la presque totalité des objets naturels.

II. — La Plante

7. — On pourrait s'attendre à trouver dans les animaux et les végétaux de tout autres éléments que dans les matières inertes.

Au contraire, comme la chimie le démontre, ils sont formés des mêmes corps simples que la terre, l'eau et l'air, et même des plus communs parmi ces corps.

8. — Pour fixer les idées, indiquons la composition moyenne de l'herbe des prairies, et supposons que l'analyse porte sur 1,000 kilogrammes d'herbe fraîche.

Les trois quarts du poids environ, soit 750 kilogrammes, sont formés par de l'*eau*. Nous nous en débarrasserons en séchant complètement l'herbe dans une étuve dont la température atteigne 100-110°.

Les 250 kilos restants s'appellent la *substance sèche*.

En la brûlant avec soin, on en voit la plus grande partie (230 kilos) s'échapper en fumée : c'est la *matière combustible* ou *organique*, tandis qu'il reste seulement 20 kilogrammes de *cendres* ou *matière inorganique*.

Poursuivant alors séparément l'analyse de la fumée et des cendres, on aboutit au résultat qui est résumé dans le tableau suivant :

COMPOSITION MOYENNE DE L'HERBE DES PRAIRIES

Poids des plantes fraîches : 1,000 kilos, soit :		
Eau		750 kil.
Substance sèche : 250 kilos, comprenant :		
Matière organique, 230 kilos, savoir :	*Carbone*	110 —
	Oxygène	100 —
	Hydrogène	15 —
	Azote	5 —
et Cendres, 20 kilos, savoir :	*Potasse*	5.5
	Chaux	3.0
	Magnésie	1.2
	Oxyde de fer	0.3
	Acide phosphorique anhydre	1.5
	Acide sulfurique anhydre	0.9
	Oxyde de manganèse	0.1
	Soude	0.5
	Silice	6.0
	Chlore	1.0
	TOTAL ÉGAL	1.000 kil.

9. — Quatorze corps simples seulement figurent dans ce tableau : carbone, oxygène, hydrogène, azote, potassium, calcium, magnésium, fer, phosphore, soufre, manganèse, sodium, silicium, chlore. Encore verrons-nous que les trois ou quatre derniers ne sont pas indispensables à la plante. La liste se trouve ainsi réduite à *dix* ou *onze éléments nécessaires et suffisants*.

10. — Cette liste s'applique non seulement à l'herbe, mais à tous les végétaux de nos cultures. Avec quelques additions peu importantes, elle représente aussi ce qui est nécessaire aux animaux et à l'homme.

11. — La masse de matière qui constitue la plante développée n'existait évidemment pas dans la graine. La plante doit donc, comme l'animal, recevoir des aliments du dehors, en un mot *se nourrir*. Et puisque chacun de nos dix ou onze corps simples constitue quelque chose d'immuable que l'on ne peut ni décomposer, ni créer, il faut que la plante trouve à sa portée chacun de ces dix corps. Il s'agira maintenant de déterminer la source de chacun d'eux.

OUVRAGES GÉNÉRAUX A CONSULTER

(Les ouvrages marqués d'un astérisque sont les plus élémentaires)

P. De Wilde et J. Lindeman. — *Traité élémentaire de chimie*, 4e édition, 2 volumes. Bruxelles, Mertens, 1899.

* A. Deluc. — *La chimie pour tous*, 3 fascicules. Bruxelles, Manceaux, 1878.

* Th. Schlœsing fils. — *Notions de chimie agricole*, 2e édition. Paris, Masson, 1897 (Encyclopédie des Aide-Mémoire).

* SABATIER. — *Leçons élémentaires de chimie agricole*. Paris, 1890.

* R. WARINGTON. — *La chimie à la ferme* (traduit par DE VUYST et WAUTERS). Bruxelles, 1889 (Bibliothèque agricole belge).

* MICHEELS, VAN DAMME, BASTIN-LEJUSTE et MEERSSEMAN. — *Leçons d'agronomie*. Gand, 1901.

A. DAMSEAUX. — *Manuel d'agriculture générale*, 3e édition. Bruxelles, Mayolez et Audiarte, 1902.

* A. DAMSEAUX. — *Éléments d'agriculture générale*. Bruxelles, Mayolez.

J. SACHS. — *Vorlesungen über Pflanzenphysiologie*, 2e édition. Leipzig, 1887.

A.-B. FRANK. — *Lehrbuch der Pflanzenphysiologie mit besonderer Berücksichtigung der Kulturpflanzen*. Berlin, 1896.

L. ERRERA. — *Sommaire du cours de Botanique*. Bruxelles, Lamertin, 1898, [et 2e édition, revue et corrigée, 1904.]

L. ERRERA et É. LAURENT. — *Texte descriptif illustré des Planches de Physiologie végétale* (1). Bruxelles, Lamertin, 1897.

PH. VAN TIEGHEM. — *Éléments de Botanique*, 3e édition. Paris, 1898.

* H. DE VRIES. — *De voeding der planten*. Harlem, 1886.

* A. PETERMANN. — *La composition moyenne des principales plantes cultivées*, 3e édition.

[(1) Voir ce travail plus loin, page 67.]

LEÇON II

III. — Le Sol et l'Atmosphère

12. — Pour se nourrir, la plante peut puiser à deux sources : le *sol* et l'*atmosphère*. Quels éléments chacun de ces milieux met-il à sa portée?

13. — La composition du *sol* est très complexe et diffère d'un endroit à l'autre. Mais on y trouve presque toujours une certaine quantité de chacun des quatorze éléments qui nous intéressent, à côté d'autres dont nous n'avons pas parlé jusqu'ici, tels que l'*aluminium*, qui est une partie intégrante de l'argile.

14. — L'*air*, tout en étant, comme le sol, un mélange de substances diverses, présente une composition approximativement constante. Seule la proportion d'humidité, c'est-à-dire de *vapeur d'eau*, y est fort variable : dans le centre de la Belgique, l'air, à midi, est en moyenne à peu près aux trois quarts saturé de vapeur d'eau (soit, pour une température de 14° C., 8.8 grammes de vapeur d'eau par mètre cube d'air). Pour le reste, un mètre cube d'air bien desséché renferme toujours 784 litres d'*azote*, 209.4 d'*oxygène*, 6.3 litres d'un troisième gaz, découvert seulement depuis 1894 et appelé *argon*, environ 3 décilitres d'*anhydride carbonique* (soit trois dix-millièmes seulement) et des quantités extrêmement minimes d'ammoniaque, d'ozone et de quelques autres gaz très rares (hélium, néon, crypton et xénon).

15. — Aux deux milieux distincts avec lesquels elle se trouve en rapport, correspondent chez la plante

deux sortes d'organes : une partie souterraine — le *système des racines*, — et une partie aérienne, — l'ensemble des tiges et des feuilles que nous nommerons le *système des bourgeons*.

Les racines pénètrent dans le sol, s'y ramifient à l'extrême, l'exploitent en se soudant aux plus petites particules de terre au moyen de leurs *poils radicaux* innombrables et extraordinairement ténus. Chez la plupart des plantes, la longueur totale du système des racines est prodigieuse : 25 kilomètres pour un pied de Melon, 550 kilomètres pour un Bouleau de vingt ans.

C'est surtout par les feuilles, larges et minces, qu'a lieu le contact avec l'atmosphère. Par elles s'accomplissent des échanges continuels entre le végétal et l'air environnant. Les tiges et les branches ne sont guère que les supports des feuilles.

16. — Le problème de la nutrition se précise donc :

Quels sont les éléments indispensables à la plante? Que prend-elle au sol par ses poils radicaux? Que prend-elle à l'air par ses feuilles?

IV. — La Nutrition par les Poils radicaux

17. — Afin de répondre à ces questions, il faut faire des expériences de culture. Si l'on veut qu'elles soient rigoureuses et probantes, on doit savoir exactement quelles substances on offre à la plante et en quelles proportions. Le *sol naturel* ne saurait convenir pour ces expériences; sa composition chimique n'est pas assez fixe, il reçoit constamment certaines substances par les pluies, il en perd par les eaux souterraines. Aussi a-t-on eu recours à des *sols artificiels* (Boussin-

GAULT, 1837; prince DE SALM-HORSTMAR, 1849; LAWES, GILBERT ET PUGH, 1857; etc.), tels que le sable lavé et calciné, la pierre ponce concassée, le charbon obtenu en faisant brûler du sucre, auxquels on ajoutait des mélanges connus de composés nutritifs.

18. — L'expérience devient encore plus démonstrative si l'on supprime tout à fait le sol. Les plantes terrestres peuvent, en effet, accomplir tout leur développement *sans terre :* il s'agit seulement de fournir à leurs racines de l'eau tenant en dissolution quelques corps chimiques bien définis, sous la forme de *sels*, c'est-à-dire de combinaisons analogues au sel de cuisine et au salpêtre. C'est là la *méthode des cultures aqueuses* inventée en principe par WOODWARD en 1699, scientifiquement employée par SACHS en 1860, perfectionnée par KNOP en 1861.

19. — Moyennant des précautions très simples, une culture aqueuse est facile à réussir. On reconnaît qu'il suffit d'ajouter à l'*eau distillée,* un *nitrate,* un *phosphate*, un *sulfate,* de la *potasse,* de la *magnésie,* de la *chaux* et du *fer* — en tout, 2 à 3 millièmes, soit 2 à 3 grammes de ces sels par litre.

20. — Pour les végétaux de la famille des Légumineuses (Trèfle, Luzerne, Pois, Fève, Haricot, Lupin, etc.), l'addition du nitrate n'est même pas obligatoire, au moins dans certaines conditions, et les éléments qu'il est nécessaire et suffisant de présenter à leurs racines, sous forme de combinaisons assimilables, se réduisent à huit : *oxygène* et *hydrogène* de l'eau, *phosphore, soufre, potassium, calcium, magnésium, fer.*

Mais, pour l'immense majorité des végétaux de nos cultures (Graminacées : Blé, Orge, Avoine, Maïs, etc.; — Cruciféracées : Colza, Moutarde, etc.; — Sola-

nacées : Pomme de terre, etc. ; — etc.), le neuvième élément, l'*azote*, est également nécessaire.

Ces huit ou neuf éléments sont tout à fait indispensables : la suppression de l'un quelconque d'entre eux amène des troubles graves et arrête bientôt le développement de la plante. La privation de potassium ou de calcium, par exemple, est promptement mortelle ; le manque de fer empêche le verdissement : la plante devient chlorotique ; et ainsi de suite.

V. — La nutrition par les Feuilles

21. — Reportons-nous au tableau de la composition de l'herbe (§ 8) : nous remarquons que l'élément le plus important de la substance sèche, le *carbone*, ne figure pas dans notre liquide de culture aqueuse. Quoique le sol en renferme toujours de grandes quantités (carbonates, humus), *la plante n'a donc pas besoin de le trouver à portée de ses racines*.

22. — Dès lors, elle ne peut l'emprunter qu'à l'atmosphère, où le carbone existe en très minime proportion, à l'état d'anhydride carbonique (§ 14).

C'est ce que l'expérience directe confirme. On s'assure par l'analyse chimique que les feuilles *vertes, vivantes, éclairées* par les rayons solaires ou par une lumière intense, absorbent l'anhydride carbonique de l'air, le décomposent, assimilent le carbone et rejettent l'oxygène (§ 2).

23. — En dehors de l'anhydride carbonique, les plantes empruntent encore à l'air de l'*oxygène* : nous en reparlerons à propos de la respiration. De plus, les Légumineuses sont capables d'utiliser l'*azote* atmosphérique, comme nous l'expliquerons plus tard. On

ne connaît point jusqu'ici d'autres plantes de nos cultures qui jouissent de cette propriété remarquable.

24. — Le sodium, le silicium et le chlore font défaut dans notre liquide de culture; ils n'existent pas non plus en quantité sensible dans l'air. Néanmoins, nos plantes d'expérience croissent, fleurissent, fructifient. Il faut en conclure que ces trois corps simples ne leur sont pas indispensables. Si l'analyse les révèle dans toutes les plantes, c'est uniquement parce qu'ils sont si répandus dans le sol que les plantes les avalent, en quelque sorte, malgré elles. [Quant au manganèse (métal voisin du fer et fort répandu aussi dans le sol), il se peut qu'il soit nécessaire ou, au moins, très utile en quantité extrêmement faible; mais ce point n'est pas définitivement établi.] En somme, *notre liste de quatorze éléments se réduit donc à dix ou onze* (§ 9).

VI. — La Transpiration

25. — L'eau absorbée par les racines et chargée de petites quantités de sels : nitrates, phosphates, sulfates, etc., qui proviennent du sol, s'élève dans la plante, va du tronc aux branches et arrive jusqu'aux feuilles. Là, elle s'évapore peu à peu dans l'air. Cette perte d'eau qui existe, à un degré plus ou moins marqué, pour tous les organes aériens, reçoit le nom de *transpiration*. Les céréales émettent ainsi dans leur période de végétation de quelques mois, 1 à 2 millions de kilogrammes de vapeur d'eau par hectare.

26. — Il en résulte que la plante a sans cesse besoin d'absorber de l'eau pour remplacer celle qui s'évapore; et ce courant de transpiration a pour effet d'amener, de déposer et d'accumuler dans les feuilles les sels puisés dans le sol par les poils radicaux.

LEÇON III

VII. — La Formation de la Matière végétale

27. — Les matériaux nécessaires à la plante sont donc l'eau, les éléments des cendres empruntés au sol, le carbone emprunté à l'anhydride carbonique de l'atmosphère, et l'azote qu'elle prend ordinairement au sol à l'état de combinaison, rarement, comme azote gazeux, à l'atmosphère. Elle *assimile* ces éléments inertes, c'est-à-dire qu'elle en fait sa propre substance, la substance de ses racines, de ses feuilles, de ses tubercules, de ses fleurs, de ses fruits.

28. — On peut rattacher à trois séries principales les multiples composés qui prennent ainsi naissance dans les végétaux :

Les *hydrates de carbone*, tels que l'amidon, les sucres, la cellulose, qui renferment de 40 à 45 % de carbone, 6 à 7 % d'hydrogène et environ 50 % d'oxygène.

Les *corps gras*, c'est-à-dire les huiles et graisses végétales, renfermant 76 à 78 % de carbone, 11 à 13 % d'hydrogène, 10 à 12 % d'oxygène.

Les *matières albuminoïdes*, analogues au blanc d'œuf ou à la viande, qui contiennent de 50 à 55 % de carbone, environ 7 % d'hydrogène, 22 à 25 % d'oxygène et, en outre, 15 à 19 % d'azote, 1/2 à 2 % de soufre et, parfois, du phosphore.

VIII. — La Respiration

29. — Privée d'air, ou plus exactement d'oxygène, une bougie ne tarde pas à s'éteindre. Il en est de même

des êtres vivants : ils ne continuent à vivre que si de l'oxygène se trouve à leur disposition. Aussi bien que les animaux, toutes les plantes de nos cultures sont soumises à cette loi : l'oxygène est nécessaire à chacun de leurs organes, sous peine d'asphyxie.

30. — Tant que dure la vie, l'oxygène se jette sur les matières organiques de l'animal et de la plante, se combine avec elles, les brûle, les « oxyde », comme on dit. C'est la *respiration*. Les résultats en sont les mêmes que ceux de la combustion de la bougie. L'oxygène, s'emparant du carbone et de l'hydrogène, soit de la bougie, soit de l'organisme, les transforme en anhydride carbonique (§ 2) et en vapeur d'eau (§ 5).

Ainsi, à côté des phénomènes de construction, il y a sans cesse chez les végétaux, comme chez les animaux, des phénomènes de destruction. La vie use le vivant.

IX. — La Destruction de la Matière végétale

31. — Une portion de la substance végétale retourne directement à l'atmosphère par l'effet de la respiration. Une autre sert de nourriture aux *herbivores*, et une partie de ceux-ci, à leur tour, deviennent la proie des *carnivores*. Par cet enchaînement, il est visible que tout le règne animal est formé, en réalité, au moyen de substance végétale. La matière organique du globe vient tout entière des plantes ; les animaux ne sont que les parasites des végétaux.

32. — Ceux des végétaux et des animaux qui ne sont pas mangés par les herbivores ou les carnivores, n'en meurent pas moins au bout d'un certain temps. Leurs

cadavres, en tombant sur le sol, y apportent une quantité notable de matière organique; les déjections des animaux, la chute des feuilles, en apportent également. Que deviennent, dans la terre, ces cadavres et ces déchets?

33. — Ils fermentent, se putréfient, se décomposent, c'est-à-dire que, peu à peu, le soufre, le phosphore, l'azote, etc., qui les constituent sont ramenés à l'état de *sels inorganiques* ou *minéraux* (sulfates, phosphates, sels ammoniacaux et nitrates, etc.) et se mélangent à la terre; tandis que leur carbone, ainsi qu'une partie de leur azote et de leur hydrogène sont rendus à l'air sous forme d'*anhydride carbonique*, d'*azote gazeux* et de *vapeur d'eau*.

34. — On a cru longtemps que ces phénomènes sont inhérents à la matière organique, que, d'elle-même, elle s'écroule et se décompose toujours. Il n'en est rien. Sous l'influence de la lumière et de l'oxygène de l'air, la matière organique peut, il est vrai, se consumer très lentement (Duclaux); mais, à quelques centimètres de profondeur dans le sol, cette oxydation-là ne se fait déjà plus, et les fermentations et putréfactions subsistent seules. Celles-ci sont dues à l'activité d'êtres vivants d'une extrême petitesse, de *microbes* (Amibes, Levures, Bactéries), qui s'attaquent à tous les résidus organiques, s'en nourrissent et les détruisent (Schwann, 1837; Pasteur, 1857). Sans microbes, les cadavres et les déchets enfouis dans la terre y persisteraient indéfiniment, et notre globe ne serait bientôt qu'une vaste nécropole.

35. — On donne le nom d'*humus* à la série complexe des produits de décomposition par lesquels passent dans le sol les cadavres et les déchets des animaux et

des plantes, avant d'aboutir, comme derniers termes, à l'état de sels inorganiques, d'eau, d'anhydride carbonique et d'azote libre. Ces produits intermédiaires, les uns neutres, les autres acides, sont généralement bruns ou noirâtres; c'est à leur présence que la terre arable doit en majeure partie sa coloration foncée.

36. — Le mélange intime de l'humus avec les autres constituants du sol (sable, argile, calcaire) est dû en certains endroits, et surtout dans les prairies, à l'intervention des *Vers de terre*. Ils avalent constamment de la terre prise à une certaine profondeur, ils en extraient les produits encore assimilables pour eux, puis ils la rejettent à la surface du sol, dans un état de trituration extrême, très favorable à la nutrition végétale. La quantité de terre ameublie de la sorte par les Vers, mieux que par la charrue ou par la herse, représente (dans différentes parties de l'Angleterre) environ 2 kilogrammes 1/2 de terre sèche par mètre carré et par an, soit 25,000 kilogrammes par hectare. Le Ver de terre peut devenir par là un des plus précieux auxiliaires de l'agriculteur (Darwin, 1881; Wollny, 1890).

X. — La Circulation de la Matière et de la Vie

37. — Si nous embrassons d'un coup d'œil toute la matière végétale existant dans le monde à un moment donné, nous voyons, par ce qui précède, qu'elle aura une quadruple destinée :

1° Une partie est sans cesse détruite dans les plantes mêmes par leur propre respiration.

2° Une partie sera mangée par les animaux ou

utilisée par eux (nids, constructions humaines, foyers...).

3° Une partie formera des graines ou d'autres organes reproducteurs et perpétuera les espèces végétales.

4° Le reste, enfin, — cadavres et déchets de toute sorte — tombera sur le sol et pourrira peu à peu, grâce à l'intervention des microbes.

38. — Nous pouvons aussi nous servir de ces notions pour écrire l'*histoire complète d'une bouchée de pain*.

Au moyen de l'eau, des sels minéraux du sol, de l'anhydride carbonique de l'atmosphère, le blé se nourrit et se développe; le grain mûrit; on le moud et, dépouillé du son par le blutage, il constitue la farine; celle-ci est pétrie avec de l'eau, on la mélange de levain ou de levure, elle fermente, lève, se boursoufle; cette pâte, mise au four et cuite, devient du pain; l'homme le mange, l'assimile, en fabrique ses tissus et ses organes, et en élimine une partie sous forme de déjections. Le corps de l'homme, à son tour, se consume en partie par sa vie même, se perpétue en partie dans ses enfants et en partie retourne au sol après la mort. Son cadavre comme ses déjections servent de pâture à plusieurs sortes d'animaux, de Champignons et de microbes successifs, jusqu'à ce que, d'écroulement en écroulement, toute cette matière qui a été vivante soit retombée à l'état inorganique, à l'état d'eau, de sels minéraux, d'anhydride carbonique, que de nouvelles plantes vertes assimileront de nouveau.

LEÇON IV

XI. — Cycles de l'Oxygène, du Carbone et de l'Azote

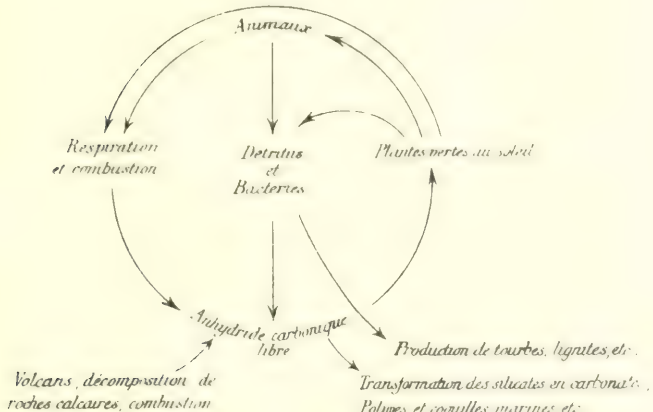
39. — Une circulation grandiose de la matière s'est révélée à nous : du règne minéral elle passe au règne végétal, de celui-ci au règne animal, pour retourner ensuite au point de départ.

Afin de mieux fixer les idées, suivons de plus près la circulation, ou ce que l'on peut appeler *le cycle* de trois des principaux éléments des plantes : l'oxygène, le carbone et l'azote.

40. — Le *cycle de l'oxygène* est relativement simple. L'atmosphère en contient une réserve inépuisable où s'alimentent toutes les combustions et à laquelle les plantes et les animaux puisent pour leur respiration incessante. Combustions et respiration dégagent, en revanche, de l'anhydride carbonique, qui sera ultérieurement décomposé par les parties vertes, vivantes et éclairées des végétaux (§ 22), avec mise en liberté d'oxygène. Un certain équilibre s'établit entre cette consommation et cette production d'oxygène. Quant aux roches, la plupart étant déjà complètement oxydées, la quantité d'oxygène qu'elles soustraient à l'atmosphère, à notre époque géologique, est relativement fort minime (oxydation des composés ferreux, des sulfures, etc.); d'ailleurs, il existe aussi des phénomènes de désoxydation ou, comme on dit, de réduction, de sorte qu'ici encore il y a compensation approximative.

41. — Le *cycle du carbone* résulte déjà presque entièrement de ce que nous avons dit (§§ 21, 22, 29 et suivants). On peut le résumer en un tableau d'ensemble :

Cycle du carbone



42. — Le *cycle de l'azote,* qui a fait l'objet de recherches extrêmement importantes, n'est pas encore bien connu dans tous ses détails.

La plupart des plantes (§ 20) ne tirent guère leur azote que de certaines combinaisons (nitrates, sels ammoniacaux) existant dans le sol et aussi, en très minime quantité, dans l'atmosphère. A la rigueur, elles peuvent cependant en emprunter également à des composés organiques azotés (urée, acide urique, asparagine, etc.).

Après leur mort, ou par l'intermédiaire des animaux qui les ont mangées, leur azote revient au sol sous forme de matière organique, soit végétale, soit animale. En trois phases successives (ammoniaque, acide

nitreux, acide nitrique), sous l'action de divers microbes, l'azote organique retourne à l'état de nitrates et peut être aisément réabsorbé par les plantes. Pour activer cette *nitrification* graduelle et, en général, la décomposition de l'humus (§ 35), on a proposé d'ajouter, au sol, des cultures de microbes, notamment celles du *Bacillus Megatherium*, vendues sous le nom d'*alinite*. Une telle addition s'est montrée utile dans certains cas (STOKLASA, 1898).

Seulement, tous ces phénomènes s'accompagnent, au détriment du sol, de *pertes d'azote combiné :*

1° Les eaux d'infiltration enlèvent au sol une forte proportion de nitrates et les charrient vers les fleuves qui les déversent dans la mer.

2° A côté de la nitrification, il y a, dans les endroits où l'oxygène fait défaut, des phénomènes inverses, de *dénitrification,* dont certains produits azotés, volatils, peuvent s'échapper dans l'atmosphère.

3° Par la putréfaction, par diverses fermentations qui ont lieu dans le sol, peut-être même par la respiration normale, une petite quantité de l'azote combiné devient libre, et se dégage.

43. — Ces pertes sont compensées, au moins en grande partie, par des *gains d'azote combiné,* dont l'étude est capitale pour l'agriculture :

1° Les nitrates, arrivés dans l'océan, sont assimilés par les plantes marines; l'azote des cadavres de ces plantes se transforme en ammoniaque, qui s'échappe partiellement de l'eau pour se répandre dans l'air et être reprise, directement ou indirectement, par la végétation terrestre.

2° Sous l'influence de l'électricité atmosphérique, l'azote et l'oxygène de l'air se combinent et forment

de l'acide nitrique (CAVENDISH). Cette production, assez faible dans nos climats, devient plus notable dans les régions tropicales où les orages sont si fréquents. La pluie apporte ensuite au sol les combinaisons azotées de l'atmosphère.

[Dans ces derniers temps, on s'est efforcé de réaliser industriellement la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air, par l'action de l'électricité (BRADLEY ET LOVEJOY, 1901).]

3° Sous l'influence de l'électricité atmosphérique, l'azote peut aussi se fixer sur diverses matières organiques : dextrine, cellulose, etc., qui existent ordinairement dans l'humus (BERTHELOT, 1876). Peut-être en est-il de même sous l'action des courants électriques du sol (BERTHELOT, 1889). Mais ces deux modes de fixation sont probablement peu importants.

4° Les Légumineuses assimilent de grandes quantités d'azote atmosphérique. Elles méritent le nom de *plantes améliorantes*. Cette propriété remarquable est due à un microbe (*Rhizobium Leguminosarum*) qui se développe dans leurs racines et y produit des renflements ou *nodosités* (HELLRIEGEL ET WILFARTH, 1889; TH. SCHLŒSING FILS ET ÉM. LAURENT, 1890). Le microbe, de son côté, emprunte à la Légumineuse de la matière organique (carbonée) : il existe ainsi, entre ces deux êtres, une association à profit mutuel, véritable syndicat agricole.

En dehors des Légumineuses, on connait quelques plantes ligneuses (Aune, *Elaeagnus*, *Podocarpus*) munies de nodosités plus ou moins analogues et pour lesquelles l'assimilation de l'azote atmosphérique est au moins probable.

5° Quelques Bactéries (par exemple un ferment butyrique, le *Clostridium Pastorianum*, d'après WINO-

GRADSKY, 1895; le *Rhizobium Leguminosarum*, d'après MAZÉ, 1897; le *Bacillus Megatherium*, d'après STOKLASA, 1898; etc.) peuvent fixer de l'azote atmosphérique, sans être associées à un autre organisme. Il semble nécessaire pour cela que ces microbes aient à leur disposition une grande quantité de matière organique à détruire.

6° Le sol recouvert de certaines Algues inférieures (*Nostoc*) fixe l'azote atmosphérique en quantité considérable (A. B. FRANK, 1888; TH. SCHLŒSING FILS ET ÉM. LAURENT, 1891), alors que, dans les mêmes conditions, le sol nu n'en fixe pas (TH. SCHLŒSING PÈRE, 1889). Il se peut que l'action de ces Algues, comme celle des Légumineuses, soit liée à la coopération de Bactéries.

Une des grandes industries agricoles de demain, ce sera, sans doute, *la fabrication microbienne d'azote assimilable au moyen de l'azote atmosphérique.*

XII. — LES TROIS RÈGLES FONDAMENTALES DE L'AGRICULTURE

44. — Nous voici en mesure de formuler les trois vérités fondamentales qui résument presque toute la pratique agricole :

1° *Le sol doit être suffisamment aéré.*

2° *Il doit être modérément humide.*

3° *Outre l'eau, il doit renfermer, sous une forme utilisable pour les racines et en quantité suffisante, des composés de phosphore, de soufre, de potassium, de calcium, de magnésium, de fer, et peut-être de manganèse; ainsi que d'azote pour les plantes non Légumineuses.*

45. — Les racines ont besoin, comme les parties aériennes, de respirer (§ 29); de là la première règle.

Quand il rend le sol plus meuble, au moyen de la *bêche*, de la *charrue*, de la *herse*, le laboureur facilite l'accès de l'air, en même temps qu'il permet aux racines de pénétrer plus aisément entre les particules de terre.

46. — L'eau, qui doit servir d'aliment (§ 20) et de véhicule pour les sels minéraux puisés dans le sol (§ 25), est encore nécessaire pour subvenir à la transpiration continuelle (§ 26). Il en faut donc dans le sol une certaine quantité. Mais il n'en faut pas trop, une couche d'eau stagnante formant comme un rideau qui empêche l'arrivée facile de l'oxygène atmosphérique.

On recourra donc au *drainage* si le sol est trop humide; à l'*irrigation*, s'il l'est trop peu. Dans nos climats, l'irrigation s'applique presque exclusivement aux prairies. Pour les champs, on ne peut guère, en temps de sécheresse, qu'attendre patiemment la pluie. Les essais, d'ailleurs intéressants, de *pluie artificielle* n'ont pas encore donné de résultats décisifs.

47. — Parmi les substances nécessaires à l'alimentation végétale, il en est de gazeuses, que les plantes empruntent à l'air (anhydride carbonique; azote pour les Légumineuses). L'agriculteur n'a pas à s'en préoccuper : le *brassage* atmosphérique par les vents suffit à les répandre sur tous les points du globe.

Mais les éléments du sol ne sont pas aussi uniformément distribués, et il importe de savoir si la plante les trouvera à sa disposition. Ainsi se justifie notre troisième règle.

[48. — Lorsque le terrain est très coûteux, on peut, dans certains cas, accroître la surface arable par des vallonnements réguliers, ce qui permet d'augmenter de plus d'un quart le nombre de pieds cultivés, et de près d'un tiers la récolte par hectare (Noll, 1899).]

XIII. — L'Engrais

49. — La végétation sauvage, en mourant et se décomposant, ramène ses éléments à peu près intacts au sol où elle a poussé. Le cycle s'accomplit sur place, et les nouvelles générations de plantes se nourrissent du phosphore, du soufre, du calcium, du potassium, etc., qui ont servi aux précédentes.

Dans la culture, au contraire, on enlève les produits végétaux (grains, fruits, légumes, fourrages, textiles, bois, etc.) pour les consommer ailleurs. C'est comme une dérivation au circuit normal. A la longue, le sol s'épuiserait donc : il faut lui restituer ce qui lui a été soustrait au profit de l'industrie, du bétail, des habitants des campagnes et des villes. C'est le rôle de l'*engrais*.

50. — Pratiqué depuis une haute antiquité, l'usage des engrais a déjà été envisagé par Bernard Palissy (XVIe siècle) comme une véritable restitution. Mais on a cru longtemps qu'il s'agissait surtout de fournir aux racines de la matière organique — du carbone — et que les matières minérales renfermées dans l'engrais n'étaient que des stimulants sans importance *(Théorie de l'humus)*. Ce fut Liebig qui, vers 1840, s'appuyant à la fois sur la chimie et la physiologie végétale, renversa définitivement cette théorie : il fit comprendre aux agriculteurs que les matières minérales du sol sont indispensables aux végétaux (§ 20), tandis que le carbone leur vient de l'air (§ 22).

51. — Certaines substances minérales sont absorbées en très faible quantité par les plantes et existent géné-

ralement en proportion assez notable dans la terre : leur manque ne se fait presque jamais sentir et nous pouvons ici les laisser de côté. C'est le cas du *magnésium*, du *soufre* et du *fer*. Le *calcium* a un rôle particulier dont nous reparlerons plus tard (§ 66). Il nous reste donc (§ 44) comme éléments essentiels des divers engrais : l'*azote*, le *phosphore* et le *potassium*.

LEÇON V

XIII. — L'Engrais *(suite)*

52. — Afin de savoir ce qu'il est nécessaire de restituer au sol, il faut calculer d'abord ce que la moisson lui enlève. Pour cela, il suffit de connaître le poids de la récolte et sa composition moyenne. Ainsi, par hectare, le *Blé* enlève en tout (paille et grains), pour un rendement de 25 hectolitres de grains, environ :

Azote	Acide phosphorique	Potasse	Chaux	Magnésie
60 kilos	25 kilos	30 kilos	12 kilos	8 kilos

La *Betterave à sucre*, pour un rendement de 40,000 kilogrammes de racines et 16,000 kilogrammes de feuilles, enlève environ :

110 kilos	60 kilos	225 kilos	75 kilos	80 kilos

On remarque combien la Betterave est plus *épuisante* que le Blé.

53. — Les matières fertilisantes qu'on ajoutera au sol devant être reprises par les racines qui se ramifient presque à l'infini (§ 15), il est essentiel que tout engrais soit intimement *mélangé* à la terre et *divisé* aussi finement que possible.

54. — Des différentes substances qui intéressent l'agriculture, quelques-unes, telles que l'acide nitrique, l'acide sulfurique, la chaux, la magnésie, traversent facilement le sol et sont entraînées par les eaux d'infiltration (§ 42). D'autres sont retenues avec énergie par les particules de terre : on dit que ces substances se trouvent alors à l'*état absorbé*. C'est le cas pour l'acide phosphorique, la potasse, l'ammoniaque.

55. — Nous passerons succinctement en revue les *engrais naturels* et les *engrais commerciaux*. Dans le premier groupe, nous rangeons les *engrais verts*, les *déchets végétaux*, les *fumiers*, les *déjections des villes*, ainsi que la *jachère;* dans le second, les *engrais azotés, phosphatés* et *potassiques*.

XIV. — Engrais naturels

56. — La *jachère* est la forme la plus rudimentaire de restitution agricole : on laisse reposer la terre et on y enfouit par des labours la végétation spontanée. Pendant ce repos, la désagrégation des particules minérales du sol, la transformation des débris végétaux en humus (§ 35), la production de nitrates aux dépens des matières organiques azotées (§ 42) continuent. De l'azote est apporté au sol par les pluies, par les Algues qui le recouvrent, peut-être par quelques-unes des Bactéries qui l'habitent, par les Légumineuses sauvages qui peuvent s'y développer (§ 43); mais cela ne lui fournit évidemment ni de la potasse, ni de l'acide phosphorique.

57. — Au lieu de se contenter de la végétation spontanée, on peut aussi faire une culture qu'on sacrifie et qu'on enterre sur place. C'est ce qu'on appelle un *engrais*

vert. L'emploi de Légumineuses semble ici de beaucoup le plus rationnel ; elles agissent comme collecteurs d'azote dans l'atmosphère, et de matières minérales dans les couches profondes du sol.

58. — Beaucoup de *déchets végétaux* peuvent être ajoutés à la terre en guise d'engrais : résidus des récoltes antérieures, feuilles tombées, plantes marines, tourteaux, touraillons (déchets d'orge germée de brasserie), pulpes de Betteraves provenant des sucreries, etc. Mais, pour ces déchets, comme pour les engrais verts, il est presque toujours plus avantageux de les employer d'abord à l'alimentation du bétail, plutôt que de les enfouir directement ; le phosphore, la potasse, la chaux et les deux tiers de l'azote se retrouvant du reste dans le fumier.

59. — L'animal adulte conserve un poids à peu près invariable. Une quantité de sa substance, équivalente à ses aliments, se détruit donc et est rejetée au dehors par la respiration et par les diverses déjections. L'azote et la potasse éliminés vont surtout dans ses urines ; l'acide phosphorique et la chaux, surtout dans ses excréments solides. Réunies aux litières, ces deux catégories de déjections constituent le *fumier*. Une tonne de fumier, bien soigné et bien conservé, renferme en moyenne 5 kilogrammes d'azote, 3 d'acide phosphorique, 6 de potasse.

60. — Le fumier est « l'engrais par excellence ». Il ramène au sol la plus grande partie des éléments que les fourrages y avaient puisés. Par sa matière organique, il donne du corps aux terres légères (sablonneuses et calcaires) et diminue la compacité des terres trop fortes (argileuses). Graduellement, sous l'action des microbes, il *se consomme* : son azote se transforme

en ammoniaque, puis en acide nitreux et en acide nitrique (§ 42), dont les racines pourront ainsi profiter peu à peu; tandis que son carbone se transforme en anhydride carbonique (§ 41) qui solubilise les carbonates et les phosphates.

L'agriculteur doit éviter autant que possible les causes d'appauvrissement du fumier : lavage par les eaux, dégagement d'ammoniaque, etc. L'addition de sulfate de fer, de plâtre, de kaïnite, pour retenir l'ammoniaque, n'a guère d'utilité : le vrai remède est dans l'emploi de litières abondantes et dans le soin apporté à la récolte et à la manipulation du fumier.

61. — De même que le fumier de ferme, les *déjections des villes* (vidanges, crottins, eaux d'égout) représentent une richesse agricole considérable. L'irrigation par les eaux d'égout a plus que quadruplé la valeur des terres dans la plaine aride de Gennevilliers, près de Paris. Seulement, ce procédé peut offrir des dangers en temps d'épidémie. Une solution qui satisfait à la fois aux exigences de l'hygiène et à celles de l'agriculture consiste à soumettre les vidanges à la cuisson en présence de chaux, puis à recueillir séparément l'ammoniaque et le dépôt calcaire, azoté et phosphaté, que l'on dessèche (poudrette).

XV. — Engrais commerciaux

62. — Les trois principaux *engrais azotés* en usage sont :

1° Le *salpêtre du Chili* (nitrate de soude). Sous cette forme, l'azote est immédiatement utilisable pour la plante, mais n'est pas retenu dans le sol (§ 54); on doit

donc employer cet engrais par petites quantités, au moment même où il doit servir, c'est-à-dire surtout au printemps.

2° Le *sulfate d'ammoniaque*, provenant généralement de la fabrication du gaz d'éclairage. L'ammoniaque est « absorbée » par le sol (§ 54) et s'y transforme en acide nitrique (§ 42). Cet engrais peut donc être répandu sur les champs un peu avant le moment où il doit être utilisé.

3° Les engrais azotés d'origine animale (chair, poissons, sang, corne, etc.), parmi lesquels les *guanos* sont les plus importants. Les guanos viennent surtout de la côte occidentale de l'Amérique du Sud. Ils sont formés des déjections et des cadavres de Chauves-souris insectivores et d'innombrables Oiseaux de mer se nourrissant de Poissons. L'azote s'y trouve à la fois comme ammoniaque et comme acide urique, associé à des quantités notables d'acide phosphorique.

OUVRAGES A CONSULTER

MÜNTZ et GIRARD. — *Les Engrais*, 3e édition, 3 volumes. Paris, Firmin Didot, 1893.

WOLFF. — *Les Engrais* (traduit par A. DAMSEAUX). Bruxelles, Mayolez, 1887.

W. KNOP. — *Ackererde und Culturpflanze*. Leipzig, 1883.

WAGNER. — *Die rationelle Düngung*, 2e édition. Darmstadt, 1891.

* *Almanach agricole belge*. — Bruxelles, Mayolez et Audiarte, 1899 et années suivantes.

[ACH. GRÉGOIRE. — *Le service agrologique de la station agronomique de Möckern* (Saxe). Bruxelles, 1904.]

LEÇON VI

XV. — Engrais commerciaux *(suite)*

63. — Les *engrais phosphatés* renferment presque tous le phosphore à l'état de phosphate de chaux. Les principaux sont :

1° Les *phosphates minéraux* (apatites, phosphorites, craie phosphatée; nodules; coprolithes) qu'on trouve en certains endroits, en gisements considérables, surtout dans le terrain crétacé (Ciply, Mesvin, etc.).

2° Les *phosphates métallurgiques* ou *scories de déphosphoration* ou *scories Thomas Gilchrist,* résidus de la fabrication de l'acier, dans lequel les phosphates constituent une impureté nuisible.

3° Les *os,* qui contiennent, à l'état frais, environ 1/5 de leur poids d'acide phosphorique. Avant leur utilisation agricole, ils sont souvent dépouillés de leur graisse ou de leur gélatine, ou employés dans l'industrie sucrière sous la forme de noir animal.

4° Les *guanos phosphatés,* qui sont des guanos ordinaires (§ 62, 3°) privés, par l'action des pluies, de la plus grande partie de leurs composés azotés.

5° Les divers engrais précédents *modifiés par des traitements chimiques* dont nous allons parler.

64. – C'est surtout pour les phosphates qu'une *pulvérisation* extrêmement fine (§ 53) a de l'importance.

En outre, il faut tenir grand compte de leur *état chimique.*

Le phosphate ordinaire, *neutre* ou *tricalcique,* peut être regardé comme la combinaison d'une quantité

déterminée d'acide phosphorique avec trois parties de chaux. Il est insoluble dans l'eau et dans une solution de citrate d'ammoniaque. En le traitant par des acides (acide sulfurique, acide phosphorique), on lui enlève une ou deux parties de chaux; on obtient successivement du phosphate *bicalcique*, soluble dans le citrate d'ammoniaque, mais insoluble dans l'eau, et du phosphate *monocalcique* ou *superphosphate*. Ce dernier se dissout dans l'eau et dans le citrate; on doit à LIEBIG (1840) son introduction en agriculture.

Après peu de temps, par l'effet du calcaire, du fer et de l'alumine qu'il renferme, une partie du superphosphate subit une *rétrogradation*, c'est-à-dire qu'il redevient insoluble dans l'eau, en retournant principalement à l'état de phosphate bicalcique.

Enfin, on peut attaquer et dissoudre par un acide certains phosphates (scories, os, etc.), puis traiter cette solution par de la chaux. On obtient ainsi du phosphate *précipité*, formé d'un mélange de phosphate bicalcique et de phosphate tricalcique, à un état de division très favorable.

Tous ces phosphates redeviennent bientôt, dans le sol, du phosphate neutre. Mais l'avantage du superphosphate est surtout d'imprégner uniformément la terre et d'avoir une action plus rapide. Viennent ensuite, comme efficacité, les scories THOMAS GILCHRIST finement moulues, le phosphate rétrogradé, le phosphate précipité et le phosphate minéral en poudre très fine.

Les phosphates étant retenus par le sol (§ 54), on peut les employer longtemps d'avance et en quantités notables. Ils doivent être enfouis par un labour, de préférence avec du fumier ou de l'engrais vert.

65. — Les *engrais potassiques* offrent moins d'importance que les engrais phosphatés et azotés, et, dans les terres fumées avec soin, leur emploi est rarement nécessaire. Toutefois une addition de sels potassiques est souvent très utile et mérite de se généraliser davantage.

Les principaux engrais potassiques sont :

1° Les sels de potassium extraits des *eaux marines*.

2° Les *cendres* des plantes (Varechs, Bruyères, Fougères, Genêts, bois, etc.).

3° Les sels de potassium extraits des *mélasses et vinasses* de Betteraves.

4° Les sels de potassium des gisements de *Stassfurt*, près Magdebourg, en Allemagne.

Dans les terres riches en calcaire, on peut ajouter avant l'hiver du chlorure de potassium qui s'y transformera en carbonate; dans les terres qui manquent de calcaire, les autres composés de potassium sont préférables; ils devront y être répandus au moment de leur utilisation. Il faut en tout cas les enfouir par un labour.

XVI. — Amendements, Assolements et Organismes auxiliaires

66. — La plupart des terres contiennent assez de chaux pour l'alimentation végétale.

L'utilité des *engrais calcaires* réside, en général, non dans leur absorption par la plante, mais dans les modifications utiles qu'ils apportent à la terre arable; ce sont des *amendements*. Ils rendent les terres argileuses moins compactes et plus perméables, contribuent au pouvoir absorbant de la terre (§ 54), chassent les mau-

vaises herbes, aident parfois à l'assimilation des phosphates, favorisent, par leur alcalinité, le développement des microbes (§§ 34, 42) et hâtent ainsi la désorganisation des fumiers et des engrais verts incorporés au sol. En outre, la chaux paraît pouvoir contrebalancer l'effet nuisible d'un excès de magnésie dans le sol (O. Loew et D. W. May, 1901).

De là, la pratique du *marnage* (application de carbonate de chaux, finement divisé), du *chaulage* (application de chaux vive, § 1), du *plâtrage* (application de plâtre). Il est généralement avantageux de répandre d'assez grandes quantités de chaux, et cela quelques semaines au moins avant les semailles. La marne, qui est un mélange de carbonate de chaux, d'argile et de sable, devra naturellement être employée en quantité plus considérable encore. Le plâtre, qui est du sulfate de chaux, apporte à la terre deux éléments utiles à la fois : la chaux et le soufre. La théorie de son emploi n'est pas encore bien élucidée.

67. — Les différentes plantes pénètrent dans le sol à des profondeurs diverses et lui enlèvent des quantités inégales des divers éléments nutritifs (§ 52); il y a donc avantage à varier les cultures, plutôt que de cultiver constamment la même espèce végétale sur une surface donnée de terrain. Ainsi s'explique l'habitude d'une succession plus ou moins régulière de cultures diverses, qu'on nomme *rotation* ou *assolement*.

L'emploi rationnel des engrais, permettant de restituer au sol ce qui lui manque, a, dans une grande mesure, délivré le cultivateur de l'obligation de l'assolement. On peut prolonger ainsi d'une manière indéfinie la culture des céréales, etc. (Lawes et Gilbert). Toutefois il n'a pas été possible jusqu'ici de réussir la

culture continue des Légumineuses; [cela tient, au moins en partie, à l'action nuisible de certaines Bactéries qui pullulent dans le sol à la suite de la culture de ces plantes (HILTNER, 1902).]

68. — Il convient de rappeler, d'un autre côté, combien puissamment certains *organismes inférieurs* aident au bon développement des plantes agricoles.

Sans parler des *Vers de terre* (§ 36), nous savons que les *Bactéries de la putréfaction* (§ 34) et celles de la *nitrification* (§ 42) ramènent les résidus organiques à des états facilement assimilables par les plantes. Il a déjà été fait allusion, à ce propos, à l'emploi de l'*alinite* (§ 42), préconisé par quelques agronomes.

L'importance capitale du *Rhizobium* a été expliquée (§ 43, 4°). Ce microbe s'accoutume aux diverses espèces de Légumineuses et forme ainsi des races physiologiques spécialement adaptées; son transfert d'une espèce de Légumineuse à une autre est d'autant plus difficile qu'il s'agit d'espèces plus dissemblables. Bien que le sol soit, d'ordinaire, suffisamment pourvu de germes de *Rhizobium*, il peut donc être utile, en certains cas, d'incorporer à la terre ou d'ajouter aux semences, des cultures de la race de *Rhizobium* appropriée; ces cultures sont vendues sous le nom de *nitragine* (NOBBE, 1896). Toutefois on manque encore d'expériences décisives à cet égard.

Il faut en dire autant de l'influence favorable d'un Champignon (*Fusarium*) sur le rendement de la Pomme de terre. Il est à peu près établi pour divers végétaux (Orchidacées, Ficaire) que la transformation de leurs bourgeons en tubercules est la conséquence de l'infection de leurs racines par un Champignon; et il n'est

pas impossible qu'il en soit de même pour la Pomme de terre (NOËL BERNARD, 1901).

Tous ces exemples rentrent dans la catégorie des associations ou, comme on dit, des *symbioses mutualistes*.

XVII. — CHOIX DES ENGRAIS

69. — Les engrais naturels et les engrais commerciaux ont chacun des avantages et des inconvénients : l'agriculteur doit les compléter judicieusement les uns par les autres.

Nous avons énuméré quelques-unes des propriétés précieuses du fumier (§ 60). Mais il ne fait, en somme, que rendre à la terre ce qui en est sorti; il n'y ajoute pas d'aliments nouveaux. Le fumier restitue, l'engrais chimique enrichit.

Les engrais chimiques représentent aussi une forme beaucoup plus concentrée des matières fertilisantes : 10 kilogrammes de phosphate précipité, 10 kilogrammes de chlorure de potassium et 25 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque, soit ensemble 45 kilogrammes, contiennent autant de principes nutritifs que 1,000 kilogrammes de fumier (§ 59).

70. — Pour le choix des engrais et de leurs proportions les plus convenables dans chaque cas spécial, l'analyse chimique du sol et de la récolte peut fournir quelques indications. Mais le seul procédé rationnel consiste à faire des essais locaux de culture et de fumure, dans lesquels on tiendra soigneusement compte des rendements et des frais. C'est le but des *champs d'expériences*.

71. — De l'ensemble de notre exposé, nous pouvons déduire quelques *conseils pratiques* d'application générale.

Les divers éléments, étant également indispensables, n'agissent que par leur association. L'abondance de la récolte sera donc toujours déterminée par la quantité de celui des éléments nécessaires qui est le moins largement offert à la plante (« Loi du minimum » de Liebig) : l'insuffisance d'un seul de ces éléments (ou, plus généralement, d'une seule des conditions d'existence de la plante) ne saurait être compensée par l'excès des autres.

Employez, autant que possible, à la fois l'acide phosphorique et l'azote. Mais, vu leur conduite différente dans le sol, soyez économe d'azote et généreux d'acide phosphorique. Le fumier, les engrais phosphatés et potassiques peuvent être appliqués longtemps d'avance; les sels ammoniacaux et les guanos, un peu d'avance, les nitrates au moment même. Faites revenir fréquemment les Légumineuses dans votre assolement. N'oubliez pas qu'il est possible, grâce aux « cultures dérobées », d'avoir deux récoltes en une année, comme cela se fait, par exemple en Flandre, par la culture du Seigle suivi de Navets. Pour les cas douteux, recourez à des essais de culture et de fumure. Pénétrez-vous de ce vieil adage latin : « Un petit champ bien cultivé produit plus qu'un grand champ négligé ».

72. — Lorsqu'il s'agit de l'acquisition et du contrôle des engrais, il y a un avantage considérable à en prendre à la fois de grandes quantités. De là, la formation de *syndicats agricoles*, qui devraient évidemment n'avoir en vue que l'intérêt agricole, sans aucune arrière-pensée personnelle ou politique.

73. — Il existe deux moyens principaux de lutter contre la *concurrence étrangère* : les perfectionnements culturaux et le protectionnisme. Celui-ci est un narcotique, ceux-là sont des tonifiants. Au point de vue d'une bonne hygiène sociale, il est facile de voir lequel mérite la préférence.

74. — Pour le progrès de l'agriculture, une coopération intime du savant et du praticien est nécessaire. Ils doivent s'entr'aider. Le cultivateur déduit certaines conclusions de son observation journalière. Mais il appartient au savant de transformer en certitudes les probabilités agricoles, et de fournir ainsi à l'agriculture elle-même une base inébranlable.

TEXTE DESCRIPTIF

DES

PLANCHES DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE (1)

L'enseignement de la physiologie végétale se heurte à des difficultés particulières. Pour l'accompagner, comme il convient, de démonstrations expérimentales, il faut avoir à sa disposition un grand choix de plantes vivantes, de multiples appareils, et beaucoup de temps. Mais cela ne suffit point. On est obligé aussi de compter avec la saison : même au moyen de jardins et de serres bien organisés, il n'est pas toujours possible d'obtenir les spécimens voulus au moment opportun. Ce n'est pas tout encore, et l'obstacle le plus grand au point de vue de l'enseignement vient de ce que la physiologie végétale est une physiologie très lente. Alors que dans l'organisme animal la plupart des réactions sont si rapides qu'il faut user d'artifices pour en saisir les diverses phases, c'est tout l'opposé que l'on remarque chez les plantes : ici, les expériences durent, en général, plusieurs heures, sinon plusieurs jours ou même plusieurs semaines, et il est impossible d'en montrer toute la marche dans l'espace d'une leçon.

Malgré ces difficultés, on doit s'attacher, dans un

(1) Ce travail, fait en collaboration avec Emile Laurent, a paru en 1897, en même temps que les XV planches de physiologie végétale qu'il accompagnait. Les explications en petit texte (de la page 78 à la page 155) se rapportent à ces planches dont nous donnons ici les réductions.

cours supérieur de botanique, à présenter aux auditeurs toutes les expériences physiologiques en nature, comme il est avantageux de leur montrer au microscope les préparations anatomiques. Mais, dans un cours plus élémentaire, il n'est pas possible de réaliser ce double idéal. Heureusement, on possède aujourd'hui, pour la morphologie et l'anatomie, des planches murales qui ne laissent rien à désirer et qui rendent à l'enseignement d'inappréciables services. Pour la physiologie proprement dite, il n'existe, pensons-nous, rien de semblable, et c'est cette lacune qu'il nous a paru utile de chercher à combler.

Notre série de planches embrasse les phénomènes principaux de la physiologie végétale (sauf la reproduction, à laquelle se rapportent déjà divers tableaux publiés dans d'autres collections) : elle est l'exécution d'un programme tracé par l'un de nous, il y a plusieurs années, dans un Rapport (1) présenté à la Société royale de Botanique de Belgique sur l'organisation de la Salle de botanique au « Palais du Peuple » projeté à Bruxelles.

Les figures de ces planches ont toutes été faites d'après nature, par nous-mêmes ou sous notre direction immédiate.

Dans beaucoup d'expériences, il s'agit de constater une modification visible du végétal : croissance, courbure, enroulement autour d'un support, mouvement de feuilles ou d'organes floraux, capture et digestion d'un Insecte par une plante carnivore. La méthode que nous avons suivie en pareil cas consiste à figurer côte à côte le point de départ et le résultat : nous avons toujours photographié au laboratoire le com-

(1) Voir ce Rapport dans le volume *Pédagogie* de cette collection.

mencement et la fin de l'expérience, et ces photographies ont servi, concurremment avec l'objet vivant, à la confection des dessins. Ceux-ci représentent donc, d'une façon rigoureuse, les changements qui se sont accomplis, par le fait de l'expérience, dans un même organisme.

Quant au choix des plantes, nous avons pris, autant que possible, des espèces de nos pays : les expériences physiologiques sont bien plus frappantes, lorsqu'on les voit s'accomplir sur des plantes connues et communes.

Outre l'explication des figures, on trouvera dans les pages qui vont suivre un aperçu des phénomènes auxquels elles se rapportent. Afin d'être plus clairs et de présenter un texte mieux enchaîné, nous n'avons pas craint de donner certaines indications très élémentaires. Nous l'avons fait aussi avec l'espoir de faciliter de la sorte l'exposé des notions fondamentales de la physiologie végétale dans l'enseignement secondaire, où on ne leur a généralement pas accordé jusqu'ici — du moins en Belgique — une place suffisante. Nous avons cherché surtout à donner une idée complète de chacune des expériences représentées, ce qui nous a obligés à nous étendre beaucoup plus au sujet de certaines planches, qu'au sujet d'autres.

Il nous reste à remercier MM. Ch. Bommer et Massart, chargés de cours à l'Université de Bruxelles, et M. Clautriau, assistant à l'Institut botanique de la même Université, qui nous ont prêté leur concours pour la préparation de diverses expériences et pour l'exécution des photographies.

Bruxelles et Gembloux, 1er décembre 1930.

PLANCHE I

Composition chimique — Nutrition par les racines

Toute plante renferme une certaine quantité d'eau, d'ailleurs très variable. Le reste de sa substance constitue ce qu'on nomme la matière sèche. En brûlant celle-ci, on s'assure qu'elle est, pour la plus grande part, combustible ; elle ne laisse qu'une petite quantité de cendres.

Si l'on analyse les produits de la combustion, on trouve que la partie combustible était formée de carbone, oxygène, hydrogène et azote; tandis que les cendres sont composées de potasse, soude, magnésie, chaux, oxyde de fer, acide phosphorique, acide sulfurique, silice, chlore. D'autres corps peuvent encore se rencontrer dans les cendres de certains végétaux (alumine, oxyde de manganèse, etc.).

Nous prendrons comme exemple la composition moyenne de l'herbe des prairies, telle qu'elle se déduit d'un grand nombre d'analyses (1).

Les corps indiqués dans ce tableau ne sont pas, tous, également nécessaires au développement des plantes : il en est qui sont indispensables; d'autres n'ont qu'un rôle accessoire ou sont même sans aucune utilité. Les recherches des physiologistes ont démontré, en effet, que dix corps, associés entre eux sous forme de combinaisons convenables, suffisent aux plantes supérieures. On peut prouver qu'il en est ainsi par des expériences de culture. La meilleure

1. Voir le tableau de la « Composition moyenne de l'herbe des prairies », page 33.

méthode consiste à faire croître des plantes telles que le Maïs (*Zea Mays*), l'Avoine (*Avena sativa*), le Sarrasin (*Fagopyrum esculentum*) ou d'autres espèces, dans des

PLANCHE I. — NUTRITION PAR LES RACINES.

solutions dont la composition chimique est rigoureusement déterminée (méthode des cultures aqueuses).

Le mélange salin suivant, dû à SACHS, convient à des essais de ce genre :

Eau distillée	1 litre
Nitrate de potasse.	1gr.0
Sulfate de magnésie	0gr.5
Sulfate de chaux	0gr.5
Phosphate de chaux tribasique. . .	0gr.5
Sulfate de fer	0gr.03

On y ajoute souvent 0.5 gramme de chlorure de sodium pour prévenir l'altération du liquide ; mais cette addition n'est pas indispensable, si l'on a soin de renouveler fréquemment les solutions.

Dans ce mélange que nous appellerons complet, le Maïs se développe parfaitement ; avec quelques soins spéciaux, il donne des fleurs et des graines.

Le mélange complet comprend donc neuf corps simples : oxygène, hydrogène, azote, soufre, phosphore, potassium, calcium, magnésium, fer ; il faut y ajouter le carbone que la plante emprunte à l'air sous la forme d'anhydride carbonique. Il en résulte (dans les limites de précision qu'il a été possible d'atteindre jusqu'ici, quant à la pureté des substances employées et à l'inattaquabilité des vases de culture) que quelques-uns des éléments constamment présents dans les cendres des plantes (sodium, silicium, chlore) ne leur sont point indispensables.

Cette liste des neuf corps simples du mélange de Sachs se réduit à huit pour les Léguminées qui, dans certaines conditions, peuvent se passer de combinaisons azotées et utiliser l'azote libre de l'air (voir planche VII).

La suppression de l'un quelconque de ces neuf (ou huit) éléments amène des troubles graves et arrête bientôt le développement. Ainsi l'absence de fer occasionne la maladie appelée chlorose : incapable de former de la chlorophylle, la plante s'épuise et meurt. La privation de calcium ou de potassium est rapidement mortelle. Il ne faut pas oublier, dans ce genre d'expériences, que la graine apporte avec elle des réserves alimentaires : toutes autres choses égales, l'absence d'un élément se fera sentir d'autant moins vite que ces réserves sont plus abondantes. C'est grâce

à ces réserves que le Maïs vit assez longtemps dans l'eau distillée, mais il reste chétif et ne parvient pas à fleurir.

Les cultures aqueuses représentées à la planche I se font de la manière suivante : des graines bien constituées et égales entre elles sont mises en germination dans un germoir, ou simplement sur un tissu à larges mailles, tendu au-dessus d'un cristallisoir contenant de l'eau distillée. Quand la radicule et la tigelle ont commencé à se développer, les jeunes plantes sont fixées entre les deux moitiés d'un bouchon que l'on adapte sur un bocal cylindrique en verre presque rempli du liquide de culture. Les racines doivent plonger dans le liquide sans que la graine même soit immergée. Il est utile d'entourer les bocaux de cylindres opaques en carton ou en métal, afin d'éviter que des Algues ne s'y développent.

EXPLICATION DE LA PLANCHE I

A gauche, en haut : COMPOSITION CHIMIQUE DE L'HERBE DES PRAIRIES (SUBSTANCE SÈCHE), représentée graphiquement par des lignes horizontales placées en face de chacun des symboles chimiques et dont les longueurs sont proportionnelles aux nombres du tableau ci-dessus. Les quatre premières lignes se rapportent aux éléments de la partie combustible ou organique; les six suivantes aux éléments indispensables des cendres; les trois dernières aux corps qui ne sont pas absolument nécessaires.

Parmi ces divers éléments, le carbone, une partie de l'oxygène et, éventuellement, l'azote (cas des Légumineuses, planche VII) proviennent de l'air; tous les autres sont empruntés au sol par les racines.

Partie inférieure : NUTRITION PAR LES RACINES : Cultures aqueuses de Maïs (*Zea Mays*), toutes âgées de deux mois et demi (juillet-septembre 1892). Ces cultures sont reproduites sur la planche en grandeur naturelle.

FIGURE 1. — CULTURE DANS L'EAU DISTILLÉE. — La plante est vivante, mais chétive; les racines, peu nombreuses, sont fort longues.

FIGURE 2. — CULTURE DANS LE LIQUIDE DE SACHS COMPLET, MOINS LA POTASSE (l'azote a été donné sous forme de nitrate de soude). — La plante meurt très rapidement; racines assez ramifiées.

FIGURE 3. — CULTURE DANS LE LIQUIDE DE SACHS COMPLET, MOINS LA CHAUX (l'acide phosphorique a été donné sous forme de phosphate de potasse). — La plante est vivante, un peu plus grande que dans l'eau distillée, mais très chétive.

FIGURE 4. — CULTURE DANS LE LIQUIDE DE SACHS COMPLET, MOINS L'AZOTE (la potasse a été donnée sous forme de sulfate de potasse). — La plante est vivante, assez bien portante pour le moment, mais peu développée; les racines sont très ramifiées.

FIGURE 5. — CULTURE DANS LE LIQUIDE DE SACHS COMPLET, MOINS L'ACIDE PHOSPHORIQUE. — La plante est vivante, un peu plus vigoureuse que la précédente, mais les racines sont moins développées.

FIGURE 6. — CULTURE DANS LE LIQUIDE DE SACHS COMPLET, MOINS LA MAGNÉSIE. — La plante est vivante, plus vigoureuse que les précédentes, avec racines fort développées. Elle n'arrivera pourtant pas à un développement complet.

FIGURE 7. — CULTURE DANS LE LIQUIDE DE SACHS COMPLET, MOINS LE FER. — Comme dimensions, la plante est à peu près normale. Ses deux premières feuilles, utilisant le fer renfermé dans la graine, étaient vertes, comme on peut le remarquer dans la figure; les feuilles suivantes, privées de fer, sont d'un blanc jaunâtre (chlorose). Racines très ramifiées. — La plante ne pouvant, par suite de l'absence de chlorophylle, assimiler le carbone, va bientôt mourir d'inanition, ce qu'annoncent déjà le brunissement et la dessiccation des extrémités foliaires.

FIGURE 8. — CULTURE DANS LE LIQUIDE DE SACHS COMPLET. — Plante bien portante, tout à fait vigoureuse. Les feuilles sont larges et d'un beau vert, les racines nombreuses et bien ramifiées.

PLANCHE II

Respiration

La respiration consiste dans l'absorption d'oxygène et la production d'anhydride carbonique et de vapeur d'eau par les êtres vivants : l'oxygène est emprunté à l'air, le carbone et l'hydrogène sont fournis par les tissus. Il en résulte pour l'organisme une perte de poids.

Privée d'air ou, plus exactement, d'oxygène, la plante, comme l'animal, meurt bientôt asphyxiée. Certains organismes forment, toutefois, une exception à cette règle ; il en sera question à propos de la planche V.

Les graines conviennent particulièrement pour les expériences sur la respiration et sur l'asphyxie. De l'Orge qui commence à germer est placée au fond d'un bocal maintenu ouvert, de façon à permettre le renouvellement de l'air. Elle continue à se développer, comme l'indique la figure 1. Mais si l'air est confiné, ce qui a lieu lorsqu'on met des graines dans un bocal fermé à l'émeri, la croissance des plantes cesse dès que tout l'oxygène a été absorbé (figure 2).

Pour prouver que l'oxygène de l'air a été remplacé par un gaz qui empêche la combustion, il suffit d'ouvrir le bocal avec précaution et d'y introduire une bougie allumée, suspendue à un fil de fer : elle s'éteint (figure 3) (1). Lorsqu'on renverse le bocal de manière

(1) A vrai dire, la bougie est plus exigeante qu'on ne le croit communément. Elle cesse de brûler dans une atmosphère qui n'est pas encore très fortement viciée : l'extinction se produit dès que l'air renferme 80.5 % d'azote, 3.1 % d'anhydride carbonique et 16.4 % d'oxygène (Frank Clowes). Un tel milieu est tout à fait respirable pour l'homme : c'est à peu près la composition de l'air expiré par nos poumons.

à faire arriver son contenu gazeux dans un vase renfermant de l'eau de chaux, on obtient, après agitation, un précipité de carbonate de chaux. Le gaz qui empêchait la combustion était donc de l'anhydride carbonique.

Si, au lieu de graines vivantes, on met dans un bocal semblable des graines en germination qui ont été tuées par la chaleur, et si l'on a soin d'éviter le développement de microbes, il n'y a pas de dégagement d'anhydride carbonique; aussi, une bougie allumée continue-t-elle à brûler, comme l'indique la figure 4 : la plante morte ne respire plus.

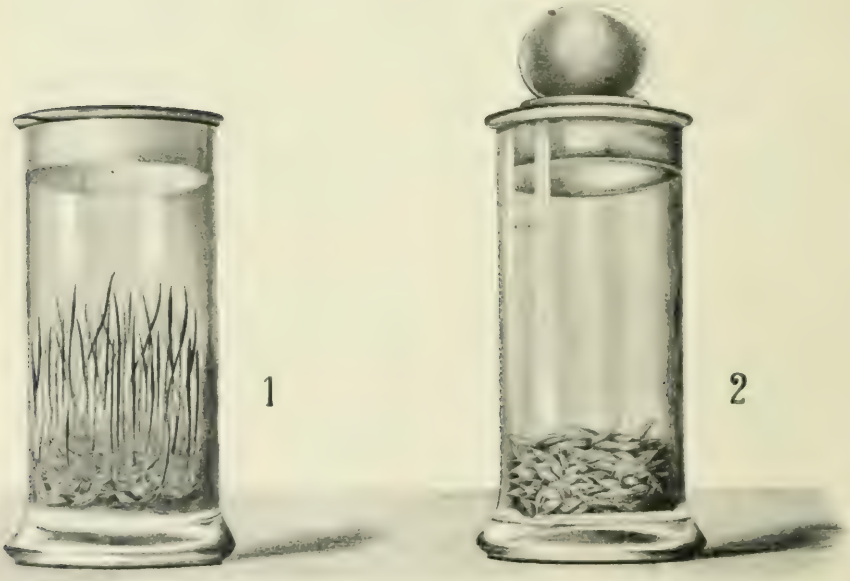


PLANCHE II. — RESPIRATION.

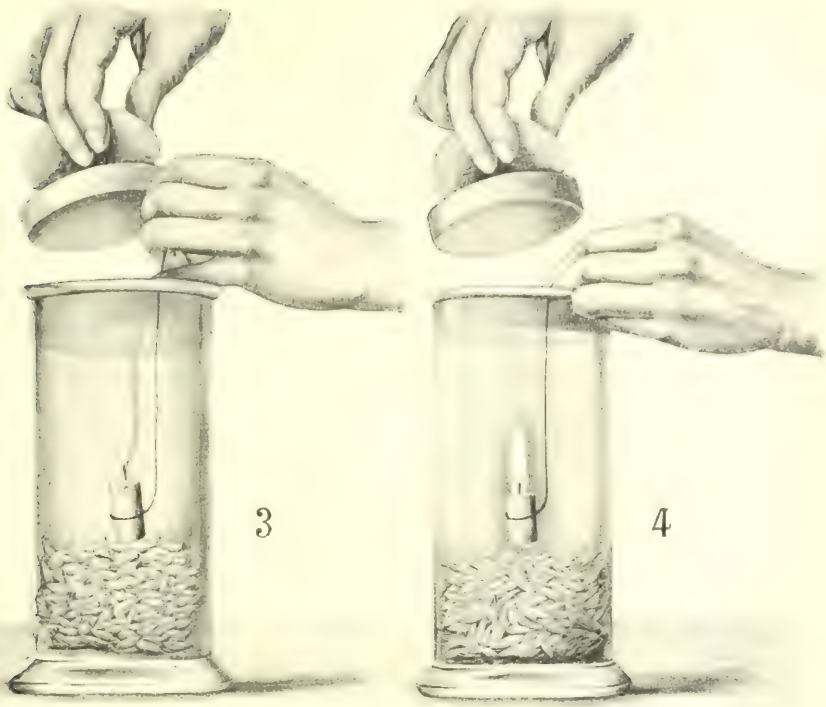


PLANCHE II. — RESPIRATION.

EXPLICATION DE LA PLANCHE II

FIGURE 1 (1/1) (1). — Orge (*Hordeum distichum*) en germination, mise depuis huit jours dans un bocal ouvert : développement normal.

FIGURE 2 (1/1). — Orge en germination, mise en expérience en même temps que la précédente, dans un bocal fermé : le développement s'est arrêté dès le second jour.

FIGURE 3 (1/1). — Orge en germination, mise depuis un jour dans un bocal fermé. Elle a modifié l'air par sa respiration et l'a rendu impropre à la combustion, comme le prouve l'extinction de la bougie introduite.

FIGURE 4 (1/1). — Même expérience que la précédente, mais avec de l'Orge en germination, tuée par la chaleur : la bougie introduite continue à brûler.

(1) Ces nombres, qui indiquent le grossissement, se rapportent toujours aux figures des planches et non à leur reproduction dans le texte explicatif.

PLANCHE III

Nutrition par les feuilles

Le carbone des plantes vertes provient de l'anhydride carbonique de l'air (1), qu'elles décomposent sous l'influence de la lumière solaire ou d'une autre lumière suffisamment intense. Pour le démontrer, on

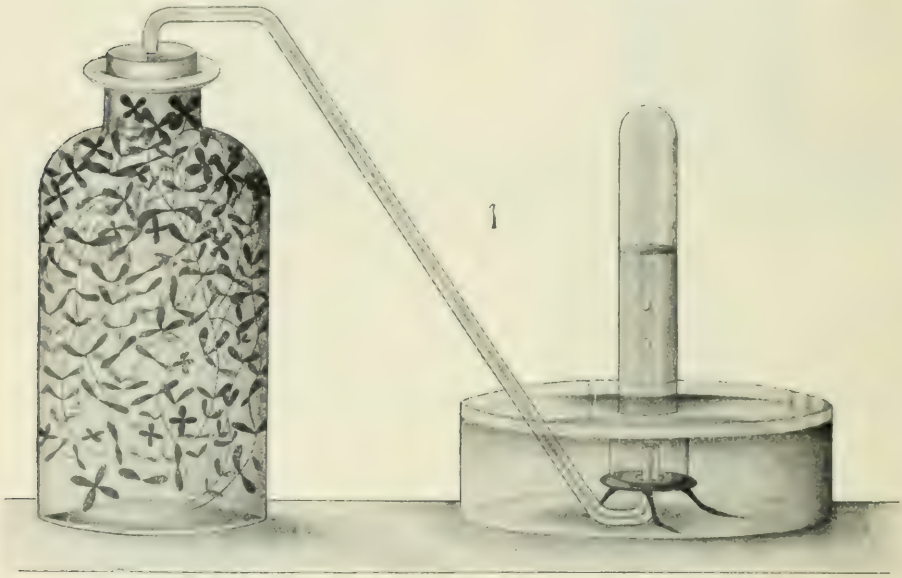


Planche III. — Figure 1. Dégagement d'oxygène.

met des plantes aquatiques dans un récipient en verre rempli d'eau contenant de l'anhydride carbonique en solution et exposé à la lumière solaire. Au récipient

(1) Il y a, en moyenne, 3 centilitres d'anhydride carbonique par 100 litres d'air, soit 3 dix-millièmes.

s'adapte un bouchon traversé par un tube courbé, comme l'indique la figure 1 ; des bulles de gaz s'échappent des plantes et sont recueillies dans une éprouvette renversée et pleine d'eau.

Ce sont les cellules à chlorophylle qui, décomposant l'anhydride carbonique, émettent un volume d'oxygène sensiblement égal au volume d'anhydride carbonique absorbé. Le gaz qui se dégage est bien de l'oxygène, car il a la propriété de rallumer une allumette qui vient de s'éteindre et qui présente encore un point en ignition.

Si l'on fait la même expérience à l'obscurité, il n'y a aucun dégagement.

Si l'on fait la même expérience avec des plantes mortes : aucun dégagement.

Si l'on fait la même expérience avec des racines ou d'autres organes végétaux non verts (plus exactement : privés de chlorophylle ou d'une matière analogue) : aucun dégagement.

Conclusion : les organes verts, vivants et éclairés décomposent l'anhydride carbonique, fixent le carbone et rejettent l'oxygène.

Le phénomène chimique qui s'accomplit dans les cellules à chlorophylle sous l'action de la lumière peut être représenté par la formule suivante :

$$CO^2 + H^2O = CHHO + O^2.$$

L'oxygène étant dégagé, il reste dans la plante une combinaison de C, H et O dans les proportions qui constitueraient l'aldéhyde formique. Tout se passe comme si ce corps, aussitôt produit, se polymérisait en donnant une glycose dont la formule ($C^6H^{12}O^6$) est égale à six fois celle de l'aldéhyde formique.

Dès que la teneur de la cellule en glycose dépasse une certaine limite, la glycose se condense presque toujours sous la forme insoluble d'amidon. Celui-ci

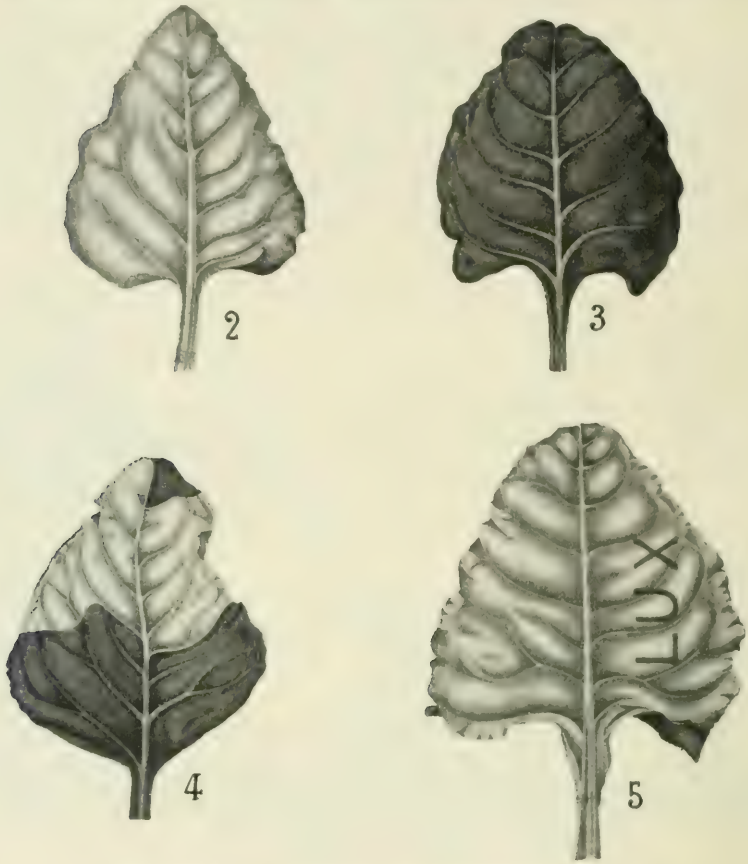


PLANCHE III. — FIGURES 2-5. FORMATION D'AMIDON.

est facile à déceler, grâce à la coloration violette qu'il prend au contact de l'iode. C'est sur cette propriété que sont fondées les expériences représentées par les figures 2 à 5.

La figure 2 montre une feuille de Betterave (*Beta*

vulgaris) qui a été cueillie de bonne heure, le matin, après une nuit chaude. Traitée par l'eau bouillante, puis par l'alcool et privée ainsi de chlorophylle, plongée ensuite dans une solution aqueuse d'iode, elle demeure incolore, ce qui témoigne de l'absence d'amidon.

Au contraire, la feuille représentée par la figure 3 a été coupée le soir d'une belle journée d'été : elle est toute gorgée d'amidon. Cette formation d'amidon, qui est un signe visible de l'assimilation de l'anhydride carbonique par la chlorophylle, s'interrompt comme celle-ci à l'obscurité. Aussi, le lendemain matin, la feuille sera de nouveau privée d'amidon, ce corps émigrant vers les tiges et les jeunes organes.

La production primaire de l'amidon ne s'accomplit que dans les tissus pourvus de chlorophylle. C'est ce qu'indique la figure 4, représentant une feuille de Betterave panachée : l'amidon n'existe qu'aux endroits où, avant décoloration de la feuille, il y avait de la chlorophylle.

La figure 5 sert à démontrer la nécessité de la lumière. On met une plante à l'obscurité pendant un jour ou deux, afin que ses feuilles ne renferment plus d'amidon. L'une de celles-ci est alors recouverte de papier d'étain, dans lequel on a découpé des caractères quelconques, et la plante est remise à la lumière : après une journée d'insolation, de l'amidon s'est formé aux endroits qui correspondent aux caractères, et cette image invisible, tracée par le soleil dans les tissus vivants, pourra être « révélée », grâce au traitement par l'iode. Dans l'assimilation chlorophyllienne, il s'agit, en effet, d'une véritable action photochimique.

On voit, en outre, que les conditions de la formation

primaire d'amidon sont exactement celles de la décomposition de l'anhydride carbonique : l'une et l'autre appartiennent aux organes verts, vivants et éclairés.

EXPLICATION DE LA PLANCHE III

FIGURE 1 (1/1). — Plantes de *Callitriche verna* dans de l'eau de source chargée d'anhydride carbonique par insufflation. Le récipient est exposé au soleil : des bulles d'oxygène se dégagent des plantes et se rendent par le tube abducteur dans l'éprouvette.

FIGURE 2 (1/1). — Feuille de Betterave (*Beta vulgaris*), cueillie à 5 heures du matin, en plein été, décolorée par l'eau chaude et l'alcool, et plongée dans une solution étendue d'iodure de potassium iodé : pas d'amidon.

FIGURE 3 (1/1). — Feuille de Betterave, cueillie à 6 heures du soir, en plein été, traitée comme la précédente : énormément d'amidon.

FIGURE 4 (1/1). — Feuille de Betterave panachée, cueillie à 6 heures du soir, en plein été, traitée comme les précédentes : beaucoup d'amidon dans les parties qui étaient vertes, pas du tout dans celles qui étaient blanches.

FIGURE 5 (1/1). — Feuille de Betterave, privée d'amidon, puis recouverte de papier d'étain, dans lequel on a découpé les trois lettres L U X, exposée pendant une journée au soleil et traitée par l'iode comme les précédentes : de l'amidon s'est formé exclusivement aux endroits éclairés.

PLANCHE IV

Transpiration

Les plantes terrestres transpirent, c'est-à-dire dégagent de la vapeur d'eau. La figure 1 représente l'un des procédés qui servent à démontrer la transpiration : un rameau est adapté à un tube en U au moyen d'un bouchon en liège coupé en deux ; le tube complètement rempli d'eau est tenu par un support que l'on place sur le plateau d'une balance, et on fait équilibre à l'aide de poids. Au bout de peu de temps, le niveau s'abaisse dans la branche ouverte du tube et le plateau qui porte le rameau devient plus léger.

Dans cette expérience, le rameau a absorbé la quantité d'eau qui correspond à l'abaissement du niveau; cette eau n'est pas restée dans les tissus, elle s'est, en majeure partie, dégagée au dehors à l'état de vapeur, puisque le poids total a diminué d'autant. La plante, par sa transpiration, exerce donc une sorte de succion et, dans les conditions normales, l'on constate une égalité approximative entre la quantité d'eau qu'elle absorbe à l'état liquide et celle qu'elle émet sous forme de vapeur.

L'eau qui se dégage par transpiration vient du sol et s'élève dans la plante par les vaisseaux du bois. Les figures 2 et 3 se rapportent à la détermination de ce trajet. On voit, dans la figure 2, un rameau de Vigne (*Vitis vinifera*) qui a été ployé à sa base de façon à plonger dans un récipient plein d'eau et qui a été sectionné sous le niveau de celle-ci. De cette manière,

l'eau pénètre avec force dans les vaisseaux et le rameau reste frais pendant fort longtemps. Au moyen d'un bouchon, on le fixe ensuite dans un tube en U tout rempli d'eau : le niveau s'abaisse rapidement dans la branche ouverte du tube.

Mais les vaisseaux sont des tubes à paroi assez épaisse et susceptible d'imbibition; on doit donc se demander si c'est dans la cavité des vaisseaux ou dans l'épaisseur de leur membrane que l'eau circule. Pour répondre à cette question, on coupe un rameau de Vigne, non plus sous l'eau, mais sous un mélange d'environ 1 partie de gélatine pour 4 parties d'eau. Ce mélange est coloré avec de l'encre de Chine ou une couleur d'aniline et on le maintient liquide à 33°. La gélatine, par suite de la succion du rameau vivant, injecte ses vaisseaux. Le rameau est immédiatement transporté dans un baquet d'eau

Planche IV. — Figure 1. Perte de poids par transpiration.

froide : la gélatine se solidifie et constitue de véritables bouchons à l'intérieur des vaisseaux. Il convient de rafraîchir la section en enlevant à la base du rameau un disque de quelques millimètres d'épaisseur.

Le rameau est fixé maintenant dans un tube en U,

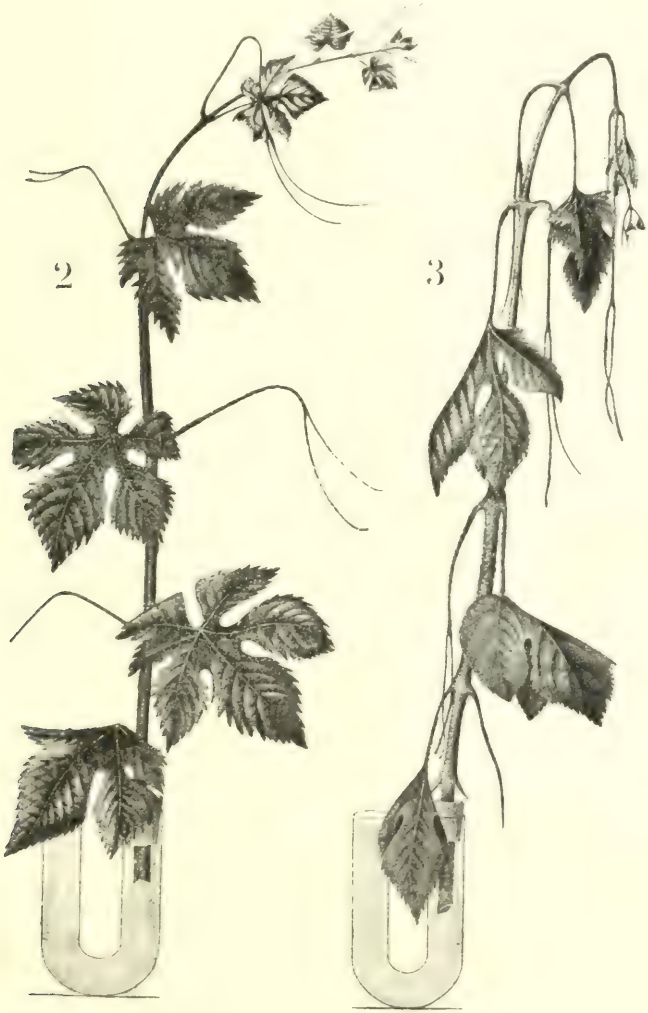


PLANCHE IV. — FIGURES 2-3. RÔLE DES VAISSEAUX.

pareil à celui de l'expérience précédente : il se fane bientôt (figure 3), ce qui prouve que l'eau ne s'élève pas par imbibition dans les parois vasculaires en quantité suffisante pour assurer la turgescence. C'est donc par les cavités des vaisseaux que s'élève le courant d'eau de transpiration.

On remarque, dans la figure 3, combien le niveau de l'eau baisse peu lorsque l'absorption d'eau par la plante est empêchée. Il en résulte que les baisses considérables révélées par les autres figures ne peuvent être dues à l'évaporation de la surface libre du liquide. — La teinte foncée que présente le bois injecté de gélatine noire est également indiquée dans cette figure, à la surface de section du rameau.

EXPLICATION DE LA PLANCHE IV

FIGURE 1 (1/1). — Balance portant un rameau de Lilas (*Syringa vulgaris*) coupé sous l'eau et fixé dans un tube en U : sa perte de poids, au bout d'un certain temps, indique la quantité d'eau qu'il a perdue par transpiration. Il reste néanmoins turgescent, grâce à l'eau qu'il prend au tube en U et dont la quantité peut être déduite de l'abaissement de niveau dans la branche libre de ce tube. Il y a égalité approximative entre les quantités d'eau émise et d'eau absorbée.

FIGURE 2 (1/1). — Rameau de Vigne (*Vitis vinifera*), coupé sous l'eau, comme dans l'expérience précédente. De même que le rameau de Lilas, il est resté frais et turgescent, en absorbant une quantité notable d'eau : de là, l'abaissement très marqué du niveau de l'eau dans le tube.

FIGURE 3 (1/1). — Rameau de Vigne pareil à celui de la figure 2, mais coupé sous un mélange d'une partie de gélatine et quatre parties d'eau. Ce mélange était maintenu liquide à 33°, puis, après qu'il eut injecté les vaisseaux, le rameau de Vigne a été plongé dans l'eau froide, pour amener la solidification de la gélatine. Les vaisseaux étant ainsi bouchés, le rameau s'est fané au bout de quatre heures et le niveau de l'eau n'a guère baissé dans le tube en U.

PLANCHE V

Plantes saprophytes et parasites — Fermentation

A l'encontre de la plupart des plantes qui empruntent tout leur carbone à l'atmosphère (voir pl. III), certains végétaux le prennent, en tout ou en partie, à des combinaisons organiques, comme le font aussi les animaux. C'est le cas des plantes parasites, saprophytes et carnivores.

Les plantes parasites proprement dites se nourrissent aux dépens d'autres êtres vivants qui continuent à vivre, tandis que les saprophytes se nourrissent de matières animales ou végétales non vivantes.

Il existe un grand nombre de parasites parmi les Champignons et les Bactéries. Parmi les Phanérogames, on n'en a signalé ni dans le groupe des Gymnospermes, ni, avec certitude, dans celui des Monocotylédones : les Burmanniacées indiquées comme parasites et la Liliacée *Petrosavia* sont très probablement des saprophytes. Les Dicotylédones, elles, comprennent un bon millier d'espèces parasites, dont la moitié sont des Loranthacées.

Quelques-unes de ces plantes possèdent encore de la chlorophylle et peuvent assimiler l'anhydride carbonique; on les a nommées hémiparasites (Johow). Telles sont la plupart des Loranthacées et des Rhinanthées.

Les parasites absolus ou holoparasites (Johow) ont, tout au plus, des traces de chlorophylle et empruntent par conséquent leurs aliments à l'organisme qu'ils attaquent. Leur mode particulier de nutri-

tion entraine chez les holoparasites des modifications profondes dans l'aspect et la structure : ils sont bruns ou blanchâtres, leurs feuilles se réduisent à des écailles, leurs racines sont remplacées par des suçoirs.

PLANCHE V. — FIGURE 1. OROBANCHE MINOR. FIGURE 2. CORDYCEPS MILITARIS.

L'Orobanche du Trèfle (*Orobanche minor*) que représente la figure 1 est, à ce point de vue, un exemple typique. Sa base est formée d'un renflement charnu qui émet de nombreux suçoirs, et beaucoup de ceux-ci s'appliquent sur les racines de la plante nourricière d'une façon si intime que les vaisseaux des deux plantes arrivent en contact immédiat. La tige, d'un brun violacé, ne porte en fait de feuilles que de petites écailles. Les fleurs, au contraire, ont une structure tout à fait normale et se rattachent de très près au type des Scrophulariacées et des Gesnéracées.

De même que pour les parasites, on peut, avec JOHOW, diviser les saprophytes en hémisaprophytes

et en holosaprophytes, suivant qu'ils sont ou non munis de chlorophylle. Le nombre des hémisaprophytes est difficile à déterminer actuellement; il est sans doute fort grand. Quant aux Phanérogames holosaprophytes, on en a signalé environ 160, appartenant aux Monocotylédones (Orchidacées, Burmanniacées, Triuridacées) et aux Dicotylédones (Pyrolacées, Gentianacées).

Le Champignon pyrénomycète de notre figure 2 offre ceci d'intéressant qu'il est tour à tour parasite et saprophyte. Ce Champignon (*Cordyceps militaris*) se rapproche beaucoup par sa structure de l'Ergot de seigle (*Claviceps purpurea*). Comme lui, il forme un sclérote compact d'où s'élèvent des appareils fructifères colorés, qui contiennent des poches ou périthèces remplies d'asques très minces à huit ascospores filiformes. Ces périthèces font, à la surface du Champignon, des saillies orangées, bien apparentes dans la figure. Déjà dans l'asque, les ascospores se divisent transversalement en plus de cent fragments et, une fois qu'elles sont mises en liberté, chacun de ceux-ci peut germer sur des substrats très divers. Ainsi naît un mycélium dont les rameaux aériens se réunissent souvent en cordons qui produisent des chapelets de conidies. C'est la forme désignée jadis sous le nom d'*Isaria farinosa*.

Si les ascospores arrivent au contact d'une chenille ou d'une chrysalide, leurs filaments germinatifs pénètrent au travers de l'enveloppe chitineuse et y vivent quelque temps en parasites, envahissant les tissus et surtout le sang. Ici se forment des conidies cylindriques que le sang transporte avec lui et qui s'y multiplient en grand nombre : l'animal s'épuise et

meurt après quelques semaines. Le mycélium se développe alors en saprophyte et il métamorphose tout le corps, au bout d'un ou deux jours, en une véritable momie fongique, visible dans notre figure sous la déchirure de l'enveloppe chitineuse. Cette masse mycélienne a les propriétés d'un sclérote et produit, après quelque temps, soit les appareils fructifères d'où nous sommes partis, soit la forme conidienne *Isaria*. Il est très rare de trouver les deux formes, *Cordyceps* et *Isaria*, sur la même chenille.

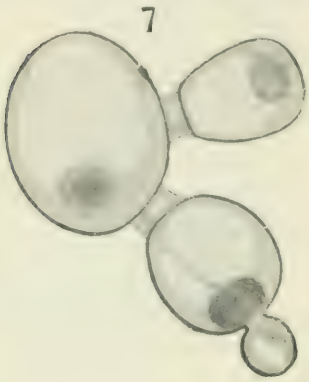


PLANCHE V. — FIGURE 7. SACCHAROMYCES CEREVISIAE : STRUCTURE CELLULAIRE.

Les filaments germinatifs issus de conidies ne pénètrent dans le corps des Insectes que par les stigmates; le développement ultérieur est semblable à celui qui vient d'être indiqué, avec cette différence que les sclérotes dérivés de conidies ne produisent jamais que la forme conidienne et non le *Cordyceps* avec ses asques.

Les figures 5, 6 et 7 sont consacrées à la Levure de bière (*Saccharomyces Cerevisiae*), Champignon dont le mode de vie est exclusivement saprophyte. Il se présente, comme on sait, sous forme de cellules plus ou moins elliptiques, qui se multiplient par bourgeonnement, c'est-à-dire que la cellule émet, en un ou plusieurs points de sa surface, des protubérances, d'abord extrêmement petites, qui grandissent peu à peu et finissent par atteindre le volume de la cellule dont elles proviennent.

L'existence du noyau, d'abord signalée par F. SCHMITZ, en 1879, a été souvent contestée. En colorant, avec précaution, au moyen d'hématoxyline, il est cependant facile de le mettre en évidence (figure 7) : on l'aperçoit sous forme d'une masse relativement grosse, environnée de cytoplasme granuleux. Une portion de ce noyau pénètre assez tardivement dans la jeune cellule, qui se sépare ensuite, par une cloison, de la cellule maternelle. A l'aide de grossissements suffisants (1,500 à 2,000 diamètres), on constate que la lamelle mitoyenne, entre les deux cellules, subit une sorte de désorganisation et forme une pièce intermédiaire, d'aspect homogène, visible dans nos figures; elle rattache seule les deux cellules l'une à l'autre et, en se détruisant, elle les isole.

Il a été question, à propos de la planche III, de la production d'amidon chez les végétaux verts; c'est sous cette forme surtout que les réserves hydrocarbonées s'emmagasinent chez eux. Le glycogène, qui est un isomère de l'amidon, remplit chez les Champignons un rôle analogue. La matière organique de ces végétaux, au lieu de provenir directement de l'anhydride carbonique, dérive, il est vrai, de composés moins simples; mais, à part cette question d'origine, on constate un parallélisme physiologique complet entre l'amidon et le glycogène. C'est ce dont il est facile de s'assurer chez la Levure. Cultivée dans du moût de bière ordinaire, elle s'y développe activement, consomme la plus grande partie de la matière sucrée qu'elle absorbe, et ne forme presque pas de glycogène (figure 5). Si, au contraire, on additionne le moût d'une quantité notable de saccharose, la Levure absorbe plus de sucre qu'elle n'en peut utiliser et en condense une

partie sous forme de glycogène dans ses cellules. Celui-ci finit par remplir complètement les vacuoles (figure 6); nos figures 5 et 6 le montrent coloré par l'iode en brun-acajou d'autant plus foncé qu'il est plus abondant. Cette accumulation se fait surtout dans les cellules adultes, tandis que les cellules au début de leur développement utilisent tout ce qu'elles reçoivent,

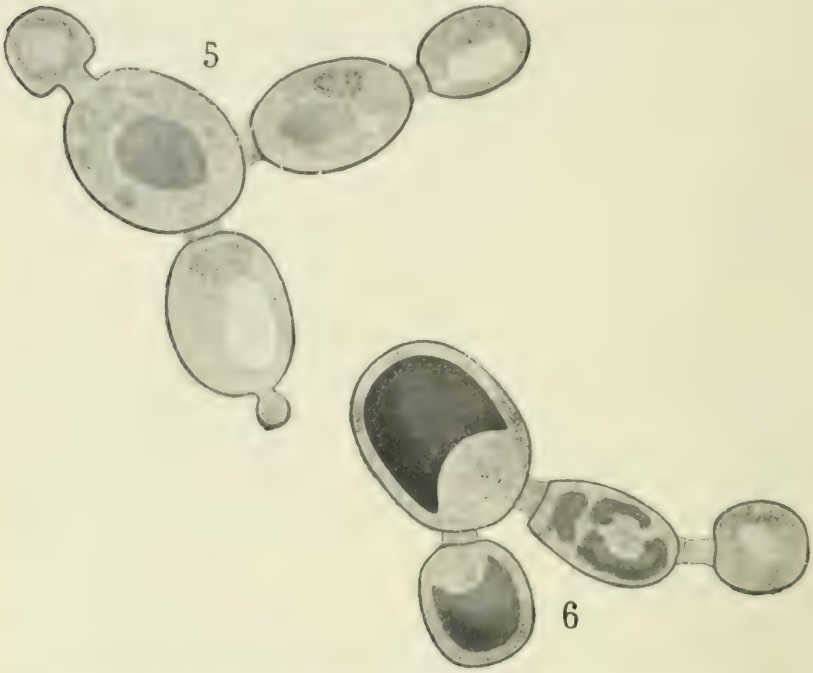


Planche V. — Figures 5-6. Saccharomyces Cerevisiae : Glycogène.

et ne constituent pas de réserves glycogéniques. Il en est de même pour l'amidon dans les points végétatifs.

La Levure de bière peut vivre au contact de l'air et, dans ce cas, respire à la façon des animaux et des plantes supérieures. Mais elle est capable aussi de continuer à vivre en l'absence d'oxygène libre, — en

anaérobie (PASTEUR), — à la condition qu'elle ait à sa disposition de la glycose, qu'elle décompose alors en alcool et anhydride carbonique. C'est ce qui constitue la fermentation alcoolique.

Le *Saccharomyces Cerevisiae* joue un rôle essentiel dans deux grandes industries : la fabrication de la bière et celle du pain. La première est une véritable fermentation alcoolique, presque exclusivement anaérobie. La fermentation panaire, en revanche, est presque exclusivement aérobie. La pâte faite au moyen de farine et d'eau, et additionnée de Levure, est pétrie, c'est-à-dire mélangée intimement de façon à y incorporer de l'air. On obtient ainsi une masse molle, compacte, indigeste (figure 3). Bientôt la Levure, par sa respiration, dégage de l'anhydride carbonique, qui ne peut s'échapper par suite de la cohésion que le gluten donne à la pâte. Il se forme donc des cavités ou yeux, remplies de gaz : la pâte se boursoufle, elle lève. Mise au four, elle gonfle encore davantage, par suite de la dilatation des bulles gazeuses. En même temps, la partie la plus extérieure et la plus fortement chauffée brunit et devient la croûte, tandis que la partie intérieure constitue la mie (figure 4).

3

PLANCHE V.
FIGURE 3. FERMENTATION PANAIRE.

4

PLANCHE V.
FIGURE 4. FERMENTATION PANAIRE.

EXPLICATION DE LA PLANCHE V

FIGURE 1 (1/1). — *Orobanche minor*, vivant en parasite sur les racines du Trèfle (*Trifolium pratense*).

FIGURE 2 (7/1). — *Cordyceps militaris* qui s'est développé d'abord en parasite, puis en saprophyte, sur une chrysalide de Lépidoptère nocturne. On voit, par la déchirure du squelette chitineux, le sclérote jaune du Champignon qui a dévoré tous les organes internes. Les verrues orangées de l'appareil fructifère représentent autant de périthèces. (Exemplaire trouvé aux environs de Bruxelles par ÉMILE MARCHAL.)

FIGURE 3 (1/1). — Moitié d'un pain avant la fermentation.

FIGURE 4 (1/1). — Moitié d'un pain semblable, après fermentation panaire et cuisson. On remarque les cavités ou « yeux » de la mie, ainsi que la croûte.

FIGURE 5 (15000/1). — Cellules de Levure de bière (*Saccharomyces Cerevisiae*) en voie de bourgeonnement dans du moût de bière ordinaire. Coloration au moyen d'une solution d'iode à 1/450 : protoplasme coloré en jaune, glycogène coloré en brun. Le glycogène est très peu abondant. Les cellules sont rattachées l'une à l'autre par des pédicules homogènes provenant de la transformation de la lamelle mitoyenne.

FIGURE 6 (15000/1). — Cellules de Levure de bière de la même race que celles de la figure 5, après quinze heures de culture dans le même moût, mais additionné de 12 % de saccharose. Coloration au moyen d'une solution d'iode à 1/450. A part la cellule la plus jeune, toutes les cellules ont leurs vacuoles remplies de glycogène.

FIGURE 7 (15000/1). — Cellules de la même Levure que ci-dessus, tuées par l'iode, puis traitées par l'alcool absolu, et colorées ensuite par l'hématoxyline en solution aqueuse très diluée, pendant deux heures environ. Le noyau est bien visible au sein du cytoplasme, dans chacune des cellules, sauf la plus jeune, qui en est encore dépourvue.

PLANCHE VI

Plantes carnivores : Drosera

Les plantes carnivores, sur lesquelles Darwin a si vivement fixé l'attention, possèdent de la chlorophylle et peuvent assimiler l'anhydride carbonique. Elles ont, en outre, la faculté de capturer, de tuer, de digérer des Insectes et d'en absorber par leurs feuilles les matières alimentaires, joignant ainsi à leur nutrition ordinaire un surcroît d'alimentation saprophyte.

On en connaît environ 350 espèces appartenant aux familles suivantes : Droséracées, Népenthacées, Sarracéniacées, Utriculariacées, Céphalotacées.

L'espèce carnivore la plus répandue dans nos régions est le *Drosera rotundifolia* que représente la figure 1. Elle pousse généralement dans les endroits humides, au milieu des *Sphagnum*. Ses feuilles, disposées en rosette radicale, ont un pétiole assez long et un limbe orbiculaire muni d'environ deux cents « tentacules », d'autant plus longs qu'ils sont plus proches de la périphérie (figure 2). Chaque tentacule est parcouru par un cordon de trachéides et se termine par une glande d'un beau rouge qui sécrète une gouttelette de liquide visqueux. Ces gouttelettes brillent au soleil et ont valu à la plante le nom français de Rossolis *(ros solis)*.

Lorsqu'un Insecte, attiré sans doute par la couleur éclatante des glandes et l'aspect des gouttelettes qui rappellent le nectar, vient à se poser sur une feuille, il est englué, puis enveloppé peu à peu par les tentacules qui, de toutes parts, se recourbent vers lui (figure 3) et

PLANCHE VI. — PLANTES CARNIVORES : DROSERA ROTUNDIFOLIA.

le noient dans leur sécrétion. Celle-ci change bientôt de nature : elle devient fortement acide (probablement par la production d'acide formique) et, comme elle renferme aussi une zymase très analogue à la pepsine des animaux supérieurs, toutes les parties internes de l'Insecte sont digérées, pour être absorbées ensuite par la feuille. Après deux jours environ, la digestion est finie, les tentacules s'étalent de nouveau et il ne reste de l'Insecte que les portions chitineuses indigestibles (figure 4). Les tentacules sont d'abord secs, mais bientôt ils recommencent à sécréter et sont alors prêts pour une nouvelle capture.

Cette nourriture animale, sans être indispensable aux *Drosera*, au moins pendant une génération ou deux, leur est cependant très avantageuse : leur poids est plus considérable, ils portent plus de feuilles et de fleurs, des graines plus nombreuses et plus grosses que lorsqu'on les prive d'Insectes.

Si l'on songe que ces plantes vivent dans une atmosphère humide, peu favorable à leur transpiration, et que leurs racines sont relativement faibles, on conçoit qu'elles trouvent grand profit à se procurer par leurs captures non seulement de la matière organique, mais encore un supplément de substances minérales, notamment des combinaisons d'azote et de phosphore.

EXPLICATION DE LA PLANCHE VI

FIGURE 1 (8/1). — *Drosera rotundifolia :* plante complète avec racines, feuilles et hampe florale. L'une des feuilles a capturé une mouche ; jusqu'ici, les « tentacules » les plus proches se sont seuls infléchis sur elle.

Figure 2 (14/1). — Portion supérieure d'une feuille adulte de la même plante montrant les tentacules terminés par leur glande rouge et leur gouttelette incolore et visqueuse.

Figure 3 (14/1). — La même feuille après capture d'une mouche. La plupart des tentacules sont déjà recourbés sur l'Insecte.

Figure 4 (14/1). — La même feuille après la fin de la digestion; les tentacules sont étalés et il ne reste de l'Insecte que le squelette chitineux.

PLANCHE VII

Plantes carnivores : Dionæa et Nepenthes
Fixation de l'azote : Légumineés

Aucune plante ne présente des adaptations insectivores plus frappantes que la Dionée attrape-mouches (*Dionaea muscipula*). Elle appartient, comme le *Drosera*, à la famille des Droséracées et est originaire des États-Unis (Caroline du Nord et Caroline du Sud).

Comme le *Drosera* aussi, elle a une rosette « radicale » de feuilles, du milieu de laquelle s'élève la tige florifère.

La feuille (figure 1) nous offre un pétiole dont la partie supérieure seule est étroite, tandis que tout le reste est dilaté en une grande lame verte. Le limbe proprement dit est constitué par deux valves rattachées l'une à l'autre à angle aigu par la nervure médiane qui forme charnière; leur bord est garni de longues dents.

On a comparé chaque moitié du limbe à une paupière, et ces dents à des cils. Les points rougeâtres visibles sur le limbe sont des glandes digestives homologues des tentacules du *Drosera*, mais, à la différence de ceux-ci, elles sont sessiles et ne sécrètent de liquide que sous l'influence d'une excitation. Sur chaque valve se trouvent en outre trois poils blanchâtres articulés à leur base sur une espèce de socle. Si l'on vient à toucher la surface du limbe et, en particulier, l'un de ces poils qui sont très sensibles, les deux moitiés du limbe se rapprochent instantanément, les poils sensibles se

couchent à plat, grâce à leur articulation, et les dents marginales s'engrènent les unes entre les autres comme

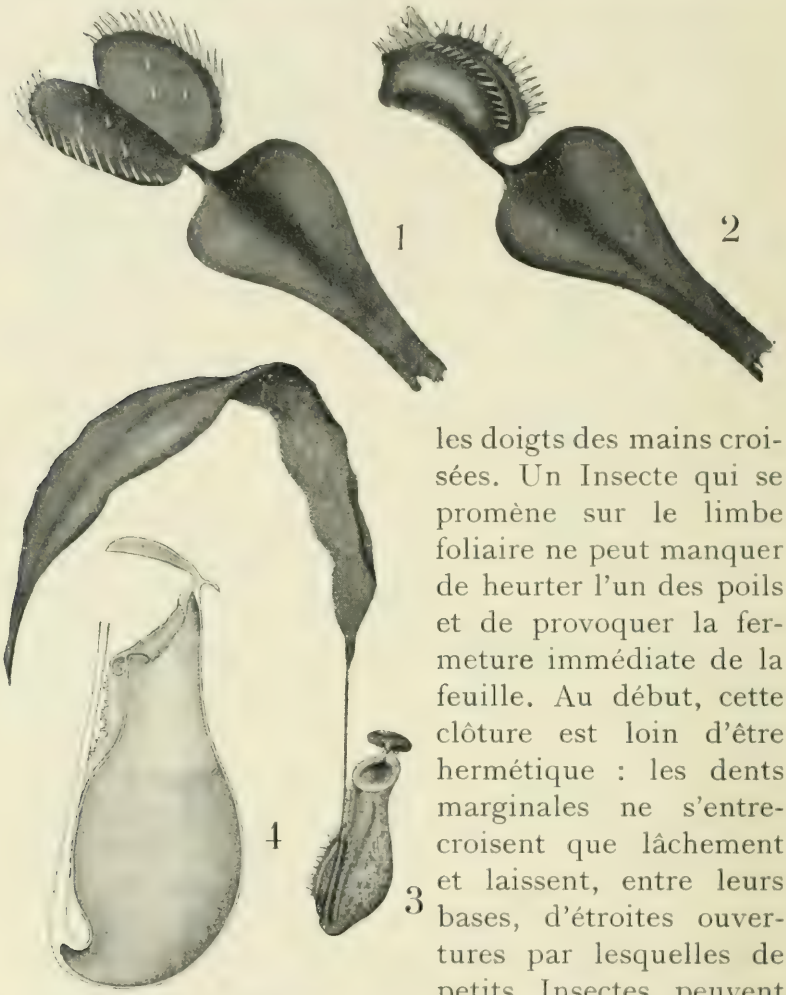


Planche VII.
Plantes carnivores : Figures 1-2. Dionæa muscipula.
Figures 3-4. Nepenthes coccinea.

les doigts des mains croisées. Un Insecte qui se promène sur le limbe foliaire ne peut manquer de heurter l'un des poils et de provoquer la fermeture immédiate de la feuille. Au début, cette clôture est loin d'être hermétique : les dents marginales ne s'entrecroisent que lâchement et laissent, entre leurs bases, d'étroites ouvertures par lesquelles de petits Insectes peuvent s'échapper sans trop de difficulté. La feuille ne retient ainsi d'une façon définitive que les proies qui en valent la peine. Un

gros Insecte a-t-il été pris, les deux moitiés du limbe s'appliquent contre lui d'une façon de plus en plus intime et l'étreignent littéralement en se touchant par leurs bords, tandis que les dents marginales se dégagent maintenant et divergent vers l'extérieur (figure 2). Il arrive parfois, comme dans le cas représenté par notre figure, que l'Insecte soit si grand qu'il dépasse en partie les limites de sa prison.

Une fois la feuille bien refermée sur l'Insecte, les glandes se mettent à sécréter un liquide digestif abondant renfermant un acide — de l'acide formique — et sans doute aussi une sorte de pepsine. L'animal est donc à la fois étouffé et noyé. La digestion se fait lentement et les matières dissoutes sont si bien absorbées que la surface de la feuille est tout à fait sèche lorsqu'elle s'ouvre de nouveau, ce qui a lieu après trois semaines environ.

Les *Nepenthes*, auxquels se rapportent les figures 3 et 4, nous offrent un exemple d'un tout autre type de plantes carnivores : les plantes à urnes (Népenthacées, Sarracéniacées et Céphalotacées) ; et c'est à ce type que l'on peut rattacher aussi les procédés insectivores des Utriculaires. Le *Cephalotus* est propre à l'Australie, les Sarracéniacées sont américaines, les *Nepenthes* vivent dans les régions intertropicales de l'Ancien Monde, à l'exception du continent africain, tandis que les Utriculaires habitent les régions chaudes et tempérées du globe entier.

On distingue quatre portions dans une feuille de *Nepenthes* (figure 3) : une lame basilaire subsessile, un prolongement filiforme remplissant chez beaucoup d'espèces le rôle de vrille, l'urne proprement dite garnie de deux ailes dentelées, et le couvercle muni postérieurement d'un éperon. D'après Goebel, les

deux premières correspondraient plus ou moins à un pétiole, les deux dernières représentant le véritable limbe.

La structure de l'urne est fort remarquable. La figure 4, qui est relative à une forme hybride désignée sous le nom de *Nepenthes coccinea* Hort., servira à en donner une idée. Intérieurement, l'urne présente deux régions bien délimitées, correspondant l'une à sa partie étroite, l'autre à sa partie ventrue. La supérieure a un reflet glauque, dû à un revêtement cireux de l'épiderme, et ne se laisse pas mouiller; l'inférieure est humide et plus foncée. Celle-ci porte un grand nombre de glandes pluricellulaires, placées chacune dans une dépression de la surface et recouvertes à moitié par les cellules épidermiques qui surplombent en forme de toit au-dessus d'elles : ce sont en quelque sorte des « glandes à auvent ». La région supérieure, glauque, offre, au lieu de glandes, des cellules semi-lunaires légèrement saillantes, à convexité dirigée vers le haut, dispersées au milieu des cellules ordinaires de l'épiderme. Quant au rebord de l'urne, il fait saillie et se rabat à la fois vers l'intérieur et vers l'extérieur, comme le montre notre figure 4. Il est très lisse dans le sens de sa courbure et marqué, dans le sens perpendiculaire à celle-ci, de stries nombreuses et parallèles qui se terminent chacune, vers la cavité de l'urne, par une dent aiguë. Entre les dents, on observe des glandes nectarifères assez volumineuses. Enfin, toute la face externe de l'urne porte des poils étoilés irréguliers et elle est pourvue, surtout vers le haut, de petites glandes rougeâtres et pluricellulaires, également nectarifères. Ces mêmes glandes se retrouvent à la face inférieure de la saillie externe du rebord de l'urne, ainsi qu'à la face inférieure et, beaucoup moins, à la face supérieure du couvercle.

Comment tous ces appareils concourent-ils à la capture et à la digestion des Insectes?

Les urnes de *Nepenthes* sécrètent dans leur région inférieure un liquide abondant, légèrement visqueux, neutre, qui contient une sorte de pepsine à laquelle s'ajoute un acide (acide formique), sous l'influence de l'excitation due à une matière étrangère quelconque (Clautriau). Grâce au couvercle de l'urne qui fait l'office d'un parapluie, la pluie ne vient guère diluer ce suc digestif accumulé au fond de l'urne.

Les Insectes sont attirés sans doute par les couleurs voyantes des urnes (figure 3) et par la sécrétion de nectar dont il a été question plus haut. Ils grimpent jusqu'au rebord strié et glissant, dont les glandes, au dire de Macfarlane, les allèchent le plus, et ils finissent presque toujours par tomber dans le liquide digestif. Ils y sont paralysés, puis tués et enfin digérés par l'action combinée de la pepsine et de l'acide.

Avant même que leur engourdissement n'ait commencé, des obstacles à peu près insurmontables s'opposent à leur fuite : les auvents qui surplombent les glandes et qui sont surtout développés dans le haut de la région inférieure, c'est-à-dire là où le niveau du liquide n'atteint généralement pas, l'obliquité de la paroi, les cellules semi-lunaires en saillie, le rebord rabattu vers l'intérieur et garni de dents, ce sont là autant de structures qui ne sauraient s'interpréter autrement.

Quelques auteurs avaient cru pouvoir attribuer à des Bactéries un rôle prépondérant ou même exclusif dans la digestion des plantes carnivores. Il se peut, d'après Goebel, que cela soit vrai pour les Sarracéniacées et le *Cephalotus*, mais il n'en est sûrement ainsi ni chez les Droséracées, ni chez les *Nepenthes* en pleine vigueur :

Goebel n'a constaté l'intervention de Bactéries que dans les urnes de *Nepenthes* vieilles ou maladives.

Lorsque aucun facteur étranger n'intervient, les plantes de l'ordre des Léguminées (Papilionacées, Césalpiniacées, Mimosacées) rentrent, au point de vue de leur nutrition, dans la règle commune. Comme on l'a expliqué d'une façon générale (planche I), elles

Planche VII. — Figures 5-7. Fixation de l'azote : Pisum sativum.

doivent absorber dans le sol des combinaisons azotées (nitrates ou sels ammoniacaux). Il en est tout autrement lorsque des microbes spéciaux se développent dans les racines de ces plantes : grâce à cette intervention, les Léguminées assimilent indirectement l'azote libre de l'air et peuvent prospérer dans des sols privés de toute combinaison azotée. Ainsi s'expliquent les propriétés « améliorantes » des Trèfles, Vesces, Lupins, etc., connues depuis l'antiquité et si souvent utilisées en agriculture.

Le microbe propre aux Léguminées et auquel on a donné le nom de *Rhizobium Leguminosarum* détermine la formation sur leurs racines de petits tubercules (figures 6 et 7), dont l'abondance et le volume varient suivant les espèces. C'est cet organisme inférieur qui assimile l'azote libre, et l'emmagasine en se multipliant dans la portion centrale des nodosités. Plus tard, il disparaît ; ses cellules sont résorbées, et les produits de leur transformation servent à la croissance de la Légumineé et à la formation de ses fleurs et de ses graines.

La Légumineé et le *Rhizobium* constituent un cas remarquable de mutualisme végétal, c'est-à-dire de « symbiose » à profit bilatéral, différant par là du parasitisme, qui est une symbiose à profit unilatéral.

On comprend donc que les Pois, les Trèfles, les Lupins et les autres plantes du même ordre puissent croître dans les terres pauvres en combinaisons azotées, mais pourvues de matières minérales, là où les Graminées, les Crucifères, les Composées et d'autres végétaux ne parviennent pas à prospérer.

L'avantage que la présence de nodosités radicales procure à une Légumineé cultivée en sol très pauvre en azote se manifeste clairement dans l'expérience dont nos figures 5 et 6 montrent les résultats.

Les deux Pois (*Pisum sativum*) représentés ont été semés en décembre 1894 dans du sable bien lavé, très pauvre en azote combiné et additionné des matières minérales suivantes, par pot contenant 2 kilogrammes de sable :

Carbonate de chaux	2	grammes.
Phosphate de chaux	1	gramme.
Sulfate de chaux	1	—
— de potasse	1	—
— de magnésie	0.5	—
— de fer	0.1	—

A la moitié des pots, on a ajouté et mélangé au sable quelques grammes de terre prise dans un jardin potager, à un endroit où des Pois avaient été cultivés l'été précédent. Les pots ont été placés dans une serre chaude, et on n'a pris aucun soin particulier pour mettre ceux qui n'avaient pas reçu de terre de potager à l'abri des microbes que pouvaient apporter l'air et l'eau des arrosements. Néanmoins, lorsqu'on a mis fin à l'expérience, on n'a pas trouvé de nodosités sur les racines des Pois cultivés dans le sable auquel on n'avait pas mélangé de terre de jardin. Il y en avait beaucoup sur les racines des Pois de l'autre série. Ces nodosités résultaient du développement des germes apportés par la terre. Après quelques semaines, la différence de développement des deux séries est frappante : les Pois qui ont été inoculés et dont les racines présentent des nodosités ont des tiges vigoureuses et leurs feuilles, malgré la saison (hiver), sont d'un vert foncé. Au contraire, les Pois soustraits à l'action microbienne restent chétifs et sont incapables de donner des graines.

EXPLICATION DE LA PLANCHE VII

FIGURE 1 (4/1). — Feuille de *Dionaea muscipula* montrant les deux portions du pétiole et le limbe à deux valves avec ses dents marginales, ses glandes digestives et ses six poils sensibles.

FIGURE 2 (4/1). — Feuille semblable qui a capturé une grosse Mouche, dont deux pattes et le bout des ailes dépassent le bord foliaire. Par suite de la fermeture complète des valves, les dents marginales, d'abord entre-croisées, sont maintenant divergentes. La Mouche a été capturée le 18 mai 1876, et la feuille ne s'est rouverte entièrement que le 8 juin.

FIGURE 3 (1/1). — Feuille complète d'un *Nepenthes* cultivé (*N. coccinea* Hort., hybride du *N. phyllamphora* et du *N. Hookeriana*) dont on distingue les quatre parties : lame basilaire élargie, portion filiforme, urne avec ailes et rebord, couvercle.

FIGURE 4 (2/1). — Section médiane de la même urne, pour montrer les détails du rebord et les deux régions de la surface interne : la supérieure pâle et lisse, l'inférieure plus foncée et glanduleuse.

FIGURES 5 et 6 (1/2). — Deux Pois (*Pisum sativum*) cultivés en serre, du 7 décembre 1894 au 7 mars 1895, dans du sable lavé, additionné de matières minérales, sans azote combiné.

Dans l'un des pots, on a ajouté, en outre, au sable, un peu de terre de jardin où des Pois avaient poussé antérieurement : des nodosités nombreuses se sont développées sur les racines, et la plante est vigoureuse (figure 6). Dans l'autre pot on n'a rien ajouté : pas de nodosités, plante très chétive, faute d'azote assimilable (figure 5).

FIGURE 7 (15/1). — Fragment de racine avec nodosités provenant de la plante figure 6.

PLANCHE VIII

Croissance : étiolement et croissance des racines

Comparés aux représentants typiques du règne animal, les végétaux se font remarquer par l'intensité et la persistance de leur croissance. Et l'on peut dire que si le règne animal est, par excellence, le règne de la différenciation, le règne végétal est celui de la croissance.

La croissance mérite d'être envisagée chez les végétaux en elle-même, indépendamment des phénomènes de nutrition et de multiplication cellulaire qui en sont le prélude habituel, mais non l'accompagnement obligé.

Planche VIII. — Croissance : Figure 3. Pomme de terre.

Il n'est pas rare de voir des tubercules, des bulbes, des boutons foliaires ou floraux détachés de la plante, placés dans des conditions où ils ne peuvent prendre aucun aliment au milieu extérieur et ne lui empruntent que de l'oxygène pour leur respiration, s'accroître notablement et se développer aux dépens de leurs réserves alimentaires. C'est ce qui s'observe souvent chez les Pommes de terre conservées à l'obscurité, et ce que représente la figure 3. A cet accroissement de volume correspond, par le fait de la

respiration, une diminution de poids. Conclusion : la croissance en elle-même est indépendante de la nutrition.

On constate même que la lumière qui est nécessaire à l'assimilation chlorophyllienne, loin de favoriser l'allongement des plantes, le retarde. L'expérience reproduite par les figures 4 et 5 en fournit la preuve.

La plante (figure 4) cultivée à la lumière est verte, consistante, pourvue de feuilles larges, et sa tige est normale. Au contraire, celle (figure 5) qui a été mise à

Planche VIII. — Croissance : Figures 4-5. Nicotiana Tabacum.

l'obscurité présente le phénomène de l'étiolement : elle est décolorée, d'un blanc jaunâtre, les limbes des feuilles demeurent étroits, réduits, mais les entre-

nœuds se sont allongés démesurément. Chez une telle plante, l'assimilation du carbone ne s'est plus faite; elle n'a pu recevoir du sol que de l'eau et un peu de matières minérales : aussi ses tissus sont-ils mous,

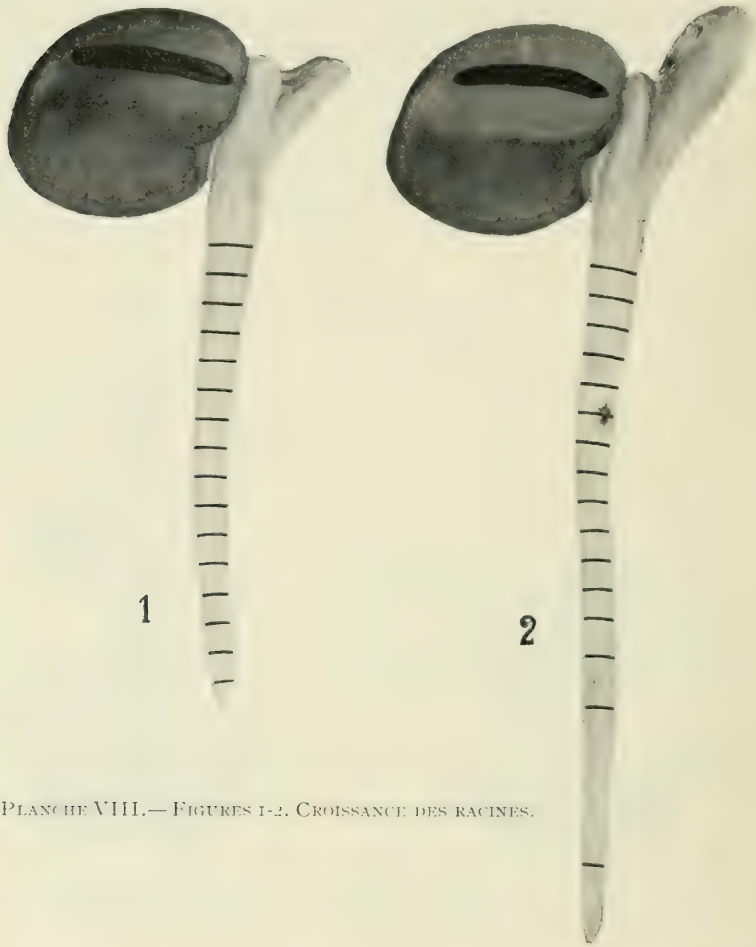


PLANCHE VIII. — FIGURES 1-2. CROISSANCE DES RACINES.

aqueux, et les premières feuilles formées ne tardent pas à se vider et à se flétrir, à mesure que leur substance émigre vers des régions plus jeunes. Cet épuisement

progressif des feuilles est bien visible dans la figure 5. On comprend ainsi comment une plante étiolée peut, avec une quantité minime de réserves alimentaires, réaliser un allongement relativement énorme.

Toutes les régions d'une plante ne participent pas en même temps à son accroissement. La croissance en longueur est localisée en certains endroits, généralement au voisinage de l'extrémité des racines et des rameaux. Pour le démontrer, on fait des marques sur la plante, et l'on mesure après un certain délai de combien elles se sont éloignées les unes des autres.

Prenons une Fève (*Vicia Faba*) en germination, et traçons sur sa racine une série de marques à l'encre de Chine, de 2 en 2 millimètres, à partir de sa pointe (figure 1). Le spécimen est placé dans une atmosphère humide. Vingt-quatre heures plus tard, il présente l'aspect de la figure 2. La racine s'est notablement allongée, mais, comme il est facile de s'en assurer par l'examen des marques, cette croissance s'est faite tout entière dans les quatre divisions les plus voisines de la pointe. La zone de croissance ne mesure donc ici que quelques millimètres. Les marques nous apprennent, en outre, que dans l'étendue de cette zone elle-même, la croissance s'est répartie d'une façon fort inégale : très lente près de la pointe de l'organe, elle s'accélère ensuite, atteint son maximum (dans la deuxième portion), diminue et finit par s'éteindre.

EXPLICATION DE LA PLANCHE VIII

FIGURE 1 (8/1). — Graine de *Vicia Faba* en germination. La racine a été marquée de traits à l'encre de Chine, de deux en deux millimètres à partir de la pointe.

FIGURE 2 (8/1). — La même racine 24 heures plus tard (température : 30°). La zone d'allongement ne comprend que les quatre divisions apicales, soit 8 millimètres. Sa croissance maximum siège dans la deuxième division. Voici les allongements constatés :

	Numéros des divisions	Longueur initiale en millimètres	Allongement après 24 heures, en millim.
	—	—	—
	X	2	0
	IX	2	0
	VIII	2	0
	VII	2	0
	VI	2	0
	V	2	0
	IV	2	0.5
	III	2	1.5
	II	2	8.9
Pointe de la racine	I	2	3.4
		Allongement total :	14.3

FIGURE 3 (3/1). — Tubercule de *Solanum tuberosum* qui a germé à l'obscurité et sans eau, depuis quatre mois. Il s'est développé des racines et des pousses étiolées, aux dépens des réserves du tubercule qui s'est desséché et ratatiné.

FIGURE 4 (2/3). — Plante de *Nicotiana Tabacum* cultivée à la lumière : aspect normal.

FIGURE 5 (2/3). — Plante de la même espèce et du même âge, cultivée à l'obscurité depuis 15 jours : on constate l'absence de chlorophylle, l'allongement démesuré de la tige (étiolement), la réduction des feuilles et leur épuisement graduel au profit des parties plus jeunes.

PLANCHE IX

Croissance : croissance des tiges en longueur et en épaisseur

La zone de croissance est, en général, beaucoup plus longue dans les tiges que dans les racines. Cela ressort immédiatement d'une comparaison entre les figures 1 et 2 de la planche VIII et les figures 1 et 2 de la planche IX. Celles-ci se rapportent à une tige de *Lysimachia vulgaris*. Des marques y ont été appliquées de 2 en 2 centimètres et, le lendemain, l'écartement de ces marques a permis de constater que la zone d'allongement comprenait environ 12 centimètres, soit quinze fois autant que celle de la racine de Fève. Le maximum de croissance, sans être aussi frappant que dans la racine, existe entre la troisième et la quatrième marque à partir du sommet.

Il convient pour ce genre d'expériences de ne pas employer de tiges à nœuds très accentués : ceux-ci troublent, en effet, la répartition régulière de la croissance.

Alors que l'accroissement en longueur est général chez les plantes, l'accroissement en épaisseur est propre à certaines d'entre elles; encore n'y existe-t-il pas dans tous les organes. C'est surtout chez les arbres dicotylédones et gymnospermes qu'il se manifeste clairement.

Nous choisissons l'Orme (*Ulmus campestris*) comme

exemple. Voici ce que montre la section transversale d'une tige très jeune, coupée au mois de juin (figure 3) :

PLANCHE IX.
FIGURES 1-2. CROISSANCE DES TIGES EN LONGUEUR.

1° A l'extérieur, un épiderme (*Ép*) à cellules aplaties, dont un bon nombre se prolongent en poils, les uns unicellulaires et aigus, les autres pluricellulaires et glanduleux.

2° L'écorce (*Éc*) formée de plusieurs couches de cellules de parenchyme, parmi lesquelles on remarque un certain nombre de grandes cellules à mucilage.

3° Des faisceaux libéroligneux (L_1 B_1), de grosseur inégale, disposés en cercle, les plus gros représentant les foliaires médians; entre eux, des rayons médullaires fort étroits.

4° La moelle (*M*), formée de parenchyme à grandes cellules, parmi lesquelles on voit aussi quelques cellules à mucilage.

Telle est la structure primaire. Mais des modifications secondaires ne tardent pas à se produire.

Entre le bois et le liber de chacun de ces faisceaux primaires apparaît très tôt une assise de cambium (*C*), qui se propage progressivement à travers les rayons médullaires et arrive ainsi à constituer un anneau continu. Ce cambium produit, de la manière connue, du bois secondaire (B_2^1), à gros vaisseaux, vers le bois primaire, et du liber secondaire (L_2^1) vers le liber primaire. On a, dès la fin de juillet, l'état représenté par la figure 4.

L'accroissement en épaisseur a pour effet nécessaire d'étirer tangentiellement et d'écraser toute la portion de la tige extérieure au cambium. Les massifs libériens

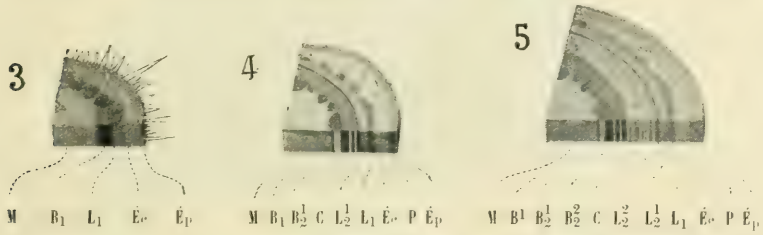


Planche IX. — Croissance des tiges en épaisseur : Ulmus campestris
Figure 3. Structure primaire.
Figure 4. Structure secondaire, fin juillet de la 1re année
Figure 5. Idem, fin juillet de la 2me année.

et les cellules à mucilage de l'écorce montrent avec netteté cet étirement dans notre coupe, tandis que les massifs ligneux primaires ne changent pas d'aspect. En même temps, les poils épidermiques sont flétris et tombés, et le périderme (*P*) a commencé à se former dans l'assise corticale située immédiatement sous l'épiderme.

La figure suivante (5) est relative à la même tige arrivée à la fin du mois de juillet de la deuxième année.

L'activité cambiale s'est poursuivie : une nouvelle couche de bois (B_2^2) et une nouvelle couche de liber (L_2^2) ont été intercalées entre le bois et le liber de la première année. Comme le bois formé au début de la période de végétation a des vaisseaux très larges, au lieu que celui de la fin de la période a des vaisseaux beaucoup plus étroits, la limite entre les couches

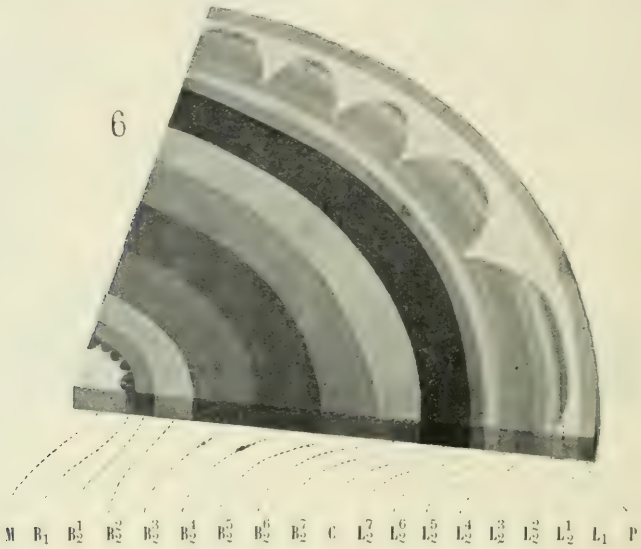


PLANCHE IX

FIGURE 6. STRUCTURE SECONDAIRE, FIN D'AOÛT DE LA 7me ANNÉE.

ligneuses annuelles est bien marquée. On voit aussi que l'étirement tangentiel du liber primaire (L_1) et de l'écorce (Ec) a continué. Le périderme (P) est devenu plus épais.

La répétition des mêmes phénomènes conduit au bout de la septième année à l'aspect qu'indique la figure 6. Des couches nouvelles de bois et de liber se sont ajoutées les unes aux autres, comme des feuillets supplémentaires intercalés dans un livre. Les couches

de bois et de liber d'une même année (figurées dans notre planche par deux nuances différentes d'une même couleur) se correspondent naturellement d'une manière symétrique par rapport au cambium.

Toutes les figures 3 à 6 étant dessinées à une même échelle, l'étirement et l'écrasement tangentiels dont il a été question, sont faciles à constater, ainsi que l'augmentation en diamètre de la tige.

Sous les climats qui, comme le nôtre, offrent une alternance régulière de saisons chaudes et froides, ou de saisons humides et sèches, les couches annuelles se distinguent aisément, comme nous l'avons rappelé plus haut, et l'examen du bois d'un arbre permet de déterminer son âge et l'âge de chacun de ses rameaux. Pour qu'il se produise en un an deux couches ligneuses au lieu d'une, il faut des circonstances exceptionnelles, telles qu'un arrêt fortuit de la végétation qui serait amené par un effeuillement complet (dû aux chenilles, par exemple, ou à une sécheresse excessive), suivi d'une nouvelle frondaison. Mais, dans l'immense majorité des cas, chaque année se marque par un seul anneau ligneux, qui est d'autant plus développé que les conditions ont été plus favorables.

En outre, chez la plupart des arbres, le bois, en vieillissant, s'imprègne de matières brunes, résineuses, incrustantes, antiseptiques : elles le rendent impropre à sa fonction physiologique qui est de conduire l'eau vers les feuilles, mais elles le préservent de la putréfaction et, au sens égoïste de l'homme, lui donnent sa valeur industrielle. La transformation commence par les couches les plus centrales, c'est-à-dire les plus âgées, et se propage peu à peu vers la périphérie,

traçant ainsi dans le tronc deux zones qui ne correspondent nullement aux cercles annuels : une zone centrale, foncée, morte : le cœur, *duramen* ou bois parfait ; une zone extérieure, plus claire, présentant, parmi les vaisseaux, des cellules de parenchyme ligneux encore vivantes : l'aubier.

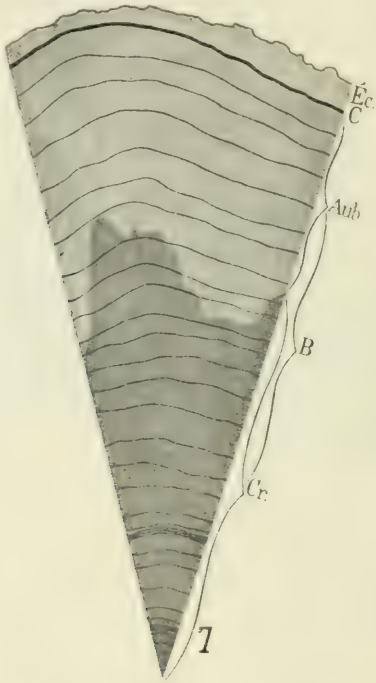


Planche IX. — Figure 7. Secteur d'Ulmus campestris montrant le cœur, l'aubier et 30 couches annuelles.

L'Orme dont nous avons représenté un secteur (figure 7) est spécialement instructif à ces divers points de vue. Il a été abattu au printemps de 1893, — après la période de végétation de 1892 et avant celle de 1893. On y observe le cambium en *C*; l'écorce, assez peu épaisse y compris le liber, *Éc*; et le bois, *B*. Dans

celui-ci, on compte 36 couches annuelles : le bois (au niveau d'où provient notre secteur) a donc commencé à se produire en 1857, et il devient facile de dater chacune de ses couches. Mais notre secteur appartenait à la deuxième rondelle à partir de la base de l'arbre : la rondelle inférieure, constituant la base véritable, présentait un cercle annuel de plus. Ainsi, ce tronc remonte, en réalité, à 1856.

Le contraste entre la partie centrale brunie — le cœur, *Cr* — et la partie périphérique plus claire — l'aubier, *Aub* — est très marqué. On voit bien que cette transformation se fait d'une manière assez irrégulière et ne suit pas du tout les couches annuelles : en certains points de la rondelle (non compris dans le secteur figuré), elle n'atteint encore que le bois de 1877 ; en d'autres (visibles dans notre dessin), elle va jusqu'à celui de 1886, presque tout entier. En un autre endroit (non figuré) de la rondelle, il y a même, dans l'année 1880, un petit îlot de cœur environné d'aubier.

Dans ce spécimen (et dans d'autres provenant de la même localité), 1878 et 1886 se caractérisent comme des années de forte croissance en épaisseur. En revanche, en 1864, l'arbre a été visiblement troublé dans son développement, et il en est de même, de la façon la plus évidente, pour les années 1871, 1872 et 1873 : ces trois années ensemble ont à peine l'épaisseur d'une année ordinaire.

Toutes ces particularités trouvent leur explication dans l'histoire de l'arbre, qu'il nous a été possible de reconstituer exactement. Il provient d'une pépinière où il a été obtenu par marcotte, et il a été transplanté en novembre 1863 : de là, le premier trouble dans sa croissance. Puis, il a été transplanté de nouveau, en mars 1871, dans la propriété où il est resté jusqu'à ce

qu'on l'ait abattu. Ce deuxième déplacement, effectué quand l'arbre avait déjà une quinzaine d'années, a eu, comme on pouvait s'y attendre, des conséquences plus graves pour lui que le premier, et il lui a fallu trois ans pour se remettre complètement.

Cet exemple montre bien que le tronc des arbres constitue de véritables annales végétales, d'une surprenante fidélité.

On sait qu'un accroissement en épaisseur, au moyen d'un cambium analogue à celui dont nous venons de voir le fonctionnement chez l'Orme, existe dans les tiges et les racines des Gymnospermes et de la plupart des Dicotylédones, même lorsqu'elles sont annuelles. L'accroissement cambial existe aussi chez quelques Monocotylédones : certaines Liliacées arborescentes (*Aloë*, *Dracoena*, *Yucca*, etc.), quelques Dioscoréacées (*Dioscorea*, *Tamus*, *Testudinaria*), une Iridacée (*Aristea*, d'après Scott). Mais chez ces Monocotylédones, le cambium est situé à l'extérieur des faisceaux libéroligneux, dans le péricycle. Ailleurs, et notamment dans les gros troncs de Palmiers, la croissance en épaisseur se fait sans assise cambiale, par l'énorme distension des cellules de la structure primaire.

En dehors des Phanérogames, plusieurs groupes de Ptéridophytes fossiles présentaient un accroissement cambial. Parmi les Ptéridophytes actuels, un cambium, d'ailleurs très peu actif, est connu seulement chez l'*Isoëtes*, dans deux genres d'Ophioglossacées (*Botrychium*, *Helminthostachys*) et dans les nœuds de la tige d'*Equisetum* (d'après Cormack).

EXPLICATION DE LA PLANCHE IX

FIGURE 1 (2,5/1). — Tige de *Lysimachia vulgaris* dont on a coupé la plupart des limbes foliaires et sur laquelle on a appliqué dix marques équidistantes, de deux en deux centimètres, jusque sous le bouton terminal.

FIGURE 2 (2,5/1). — La même tige après vingt-sept heures (température : 25°). Les parties inférieures des deux figures sont au même niveau, de sorte que la différence des hauteurs des sommets indique exactement la croissance en longueur réalisée. Voici la répartition de l'allongement mesuré sur ces tiges :

Numéros des divisions	Longueur initiale en centimètres	Allongement après 27 heures en centimètres
—	—	—
Pointe I	2	0.7
II	2	0.8
III	2	1.15
IV	2	0.9
V	2	0.35
VI	2	0.1
VII	2	0
VIII	2	0
IX	2	0
	Allongement total :	4.00

FIGURE 3 (60/1). — Portion d'une coupe transversale d'une tige très jeune d'*Ulmus campestris*, coupée en juin. Structure primaire :

Ép, épiderme avec poils ;

Éc, écorce avec quelques grandes cellules à mucilage ;

L_1, B_1, liber et bois primaires des faisceaux qui sont encore distincts et séparés par d'étroits rayons médullaires ;

M, moelle présentant quelques grandes cellules à mucilage.

FIGURE 4 (60/1). — Coupe semblable, après formation du cambium, fin juillet de la première année. Les poils épidermiques sont flétris ; par suite de l'activité cambiale, les faisceaux sont réunis en

un anneau complet; les arcs libériens et l'écorce, dans laquelle on remarque les cellules à mucilage, sont aplatis et étirés tangentiellement, tandis que les massifs ligneux n'ont pas subi de changement.

Ép, *Éc*, L_1, B_1, *M*, même signification que dans la figure 3;

P, périderme formé dans l'assise corticale sous-épidermique;

C, cambium;

L_2^1, B_2^1, liber et bois secondaires de la première année. Ils sont représentés par une teinte rouge, foncée pour le bois, claire pour le liber. La position et le diamètre approximatifs des vaisseaux sont marqués par des taches blanches.

Figure 5 (60/1). — Coupe semblable, à la fin de juillet de la deuxième année. Le périderme a augmenté d'épaisseur, l'écrasement et l'étirement des libers et de l'écorce ont continué. Une couche de liber et une couche de bois secondaires de deuxième année L_2^2, B_2^2, figurées en jaune clair et en jaune foncé, ont été intercalées par le cambium entre L_2^1 et B_2^1.

Figure 6 (60/1). — Coupe semblable et à la même échelle, à la fin d'août de la septième année. Figure demi-schématique.

Les couches correspondantes de bois secondaire, B_2, et de liber secondaire, L_2, sont affectées d'exposants indiquant les années de leur formation; elles sont toujours représentées par la même couleur, de nuance foncée pour le bois, de nuance claire pour le liber. — Les autres lettres comme précédemment.

Figure 7 (1,5/1). — Secteur d'une rondelle de bois d'*Ulmus campestris*, abattu au printemps de 1893.

Éc, écorce et liber;

C, cambium;

Aub, aubier, *Cr*, cœur, formant ensemble le bois, *B*. La différence de teinte marque nettement la limite irrégulière entre le cœur et l'aubier.

On voit par les couches annuelles que ce bois date de 1857. La hauteur des chiffres indiquant les années est chaque fois égale à l'épaisseur de la couche correspondante de bois. Les couches annuelles exceptionnellement faibles, 1864 et 1871, sont dues à deux transplantations. Le trouble amené par le second de ces déplacements s'est fait sentir encore en 1872 et 1873. En revanche, les années 1878 et 1886 ont été très favorables.

PLANCHE X

Géotropisme

Les plantes sont sensibles aux agents extérieurs : la physiologie tout entière en fournit la preuve. Mais il est une série de phénomènes où cette sensibilité, ou, comme on dit encore, cette irritabilité végétale, se manifeste avec une évidence particulière, et il importe de les étudier à part. Tel est l'objet des planches X à XIV.

Planche X. — Figure 1. Géotropisme.

Si, prenant une jeune plante en germination, nous la plaçons horizontalement dans une atmosphère humide, nous constatons, au bout d'un jour, que la tigelle s'est relevée, tandis que la radicule s'est incurvée vers le bas. La figure 1 montre le début de cette expérience, et la figure 2 le résultat. La lumière n'y est pour rien, car l'expérience peut être faite à l'obscurité. Les organes végétaux perçoivent donc de quelque manière la verticale, c'est-à-dire la direction de la pesanteur, et se courbent quand on les écarte de leur position normale. On donne à cette réaction le nom de *géotropisme*.

Planche X. — Figure 2. Géotropisme.

La plupart des tiges se courbent en s'éloignant du centre de la Terre (géotropisme négatif ou apogéotropisme), les racines principales en s'en rapprochant (géotropisme positif ou géotropisme proprement dit). Il y a aussi des organes qui tendent à se placer à angles droits avec la verticale (géotropisme transversal ou diagéotropisme); enfin, nous aurons à mentionner, à propos des plantes volubles, le géotropisme latéral.

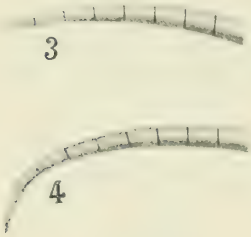


PLANCHE X.
FIGURES 3-4. GÉOTROPISME.

Toute plante vigoureuse, en pleine croissance, convient pour réaliser les expériences de géotropisme et, déjà en quelques heures, on peut obtenir des courbures démonstratives, comme le représentent les figures 5 et 6.

La courbure ne se fait pas dans toute l'étendue de l'organe; elle se localise dans la zone de croissance, dont il est facile de déterminer l'étendue par des marques, ainsi qu'il a été expliqué aux planches VIII et IX. Des marques de ce genre ont été faites sur la racine des figures 1 et 2, et on les a reproduites à une plus grande échelle aux figures 3 et 4. On y voit clairement que les régions de la racine qui ne croissent plus ne participent pas à la courbure. Celle-ci se résume donc en une

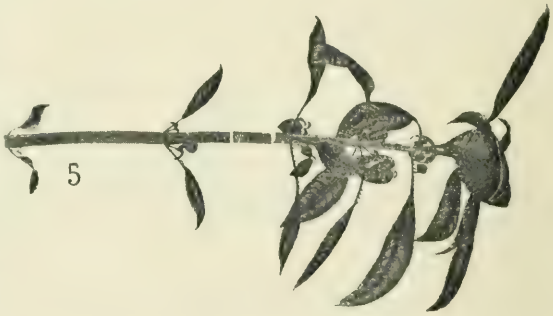


PLANCHE X. — FIGURE 5. GÉOTROPISME.

croissance inégale des deux faces de la zone d'allongement. Il en est de même pour les tiges. Dans les figures 5 et 6, comme dans les figures 1 et 2, toute la portion adulte de la tige est restée horizontale.

Certaines tiges se conduisent, toutefois, d'une manière spéciale : ce sont celles qui, comme le Blé, sont pourvues de nœuds très marqués. Leur relèvement géotropique ne se fait que par l'intermédiaire de ces nœuds et leur donne un aspect géniculé (figures 7 et 8).

PLANCHE X. — FIGURE 6. GÉOTROPISME.

Les deux types de relèvement géotropique peuvent se rencontrer dans le même genre : le *Galeopsis Ladanum* se redresse au moyen d'une courbure étendue; le *Galeopsis Tetrahit*, qui a des nœuds très apparents, se relève uniquement à leur niveau (JOHN BRIQUET). Sous l'influence de l'excitation géotropique, les nœuds, quoique parvenus au terme de leur croissance normale, recommencent à croître, s'ils n'ont pas atteint un âge trop avancé; et la courbure se fait, encore une fois, par l'allongement prépondérant de la face inférieure.

Le seul exemple connu de courbures géotropiques, s'effectuant sans croissance, nous est offert dans les renflements moteurs que présentent les pétioles de

certaines feuilles (Léguminées, Oxalidacées, etc.). Ils sont capables de se courber par des variations temporaires de la turgescence de leurs cellules. C'est ce qu'on voit bien dans la figure 7 de la planche XIII. A l'encontre des courbures précédemment décrites, celle-ci ne s'accompagne d'aucun allongement définitif de l'organe.

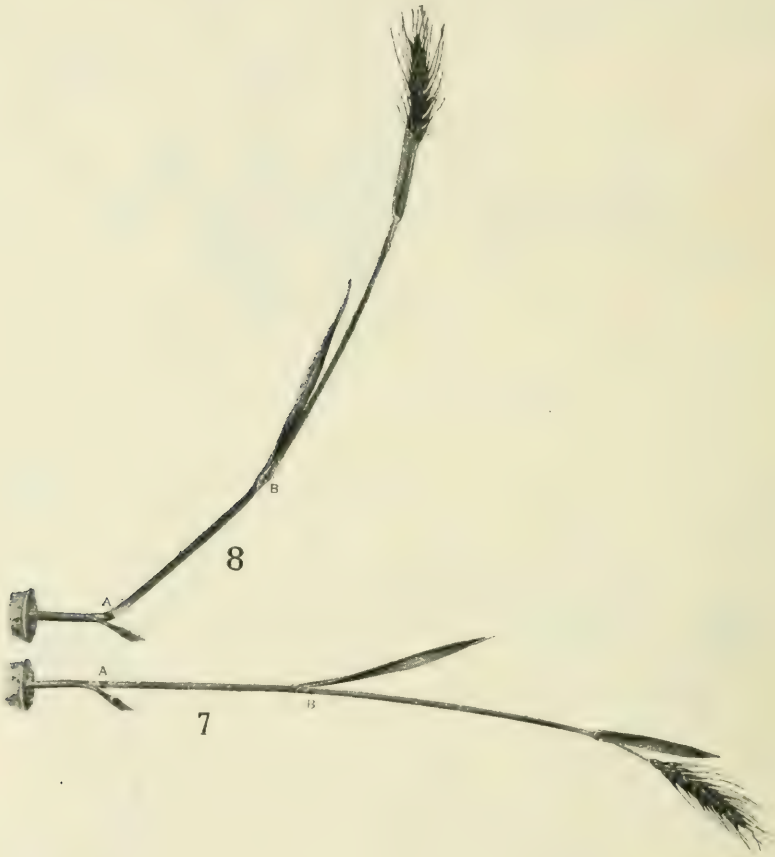


Planche X. — Figures 7-8. Géotropisme.

EXPLICATION DE LA PLANCHE X

FIGURE 1 (5/2). — Plantule de *Vicia Faba*, qui a été fixée horizontalement au moyen d'une épingle et mise dans une atmosphère humide. Marques, sur la radicule, distantes de quatre en quatre millimètres.

FIGURE 2 (5/2). — La même plantule, après vingt-sept heures (température : 21°). Elle présente une courbure en S, la tigelle s'étant relevée (géotropisme négatif), la radicule s'étant incurvée vers le bas (géotropisme positif). On voit que la courbure de la radicule siège dans la zone de croissance.

FIGURES 3 et 4 (5/1). — Extrémité de la radicule des figures 1 et 2, à une échelle double.

FIGURE 5 (3/5). — Extrémité de la tige d'une plante en pot d'*Impatiens Roylei*.

FIGURE 6 (3/5). — La même, après avoir été placée horizontalement à l'obscurité pendant seize heures : relèvement géotropique. On s'est assuré également ici que la courbure coïncide précisément avec la zone de croissance.

FIGURE 7 (1/1). — Tige de *Triticum dicoccum* piquée dans du sable humide et mise horizontalement à l'obscurité. *A* et *B*, nœuds.

FIGURE 8 (1/1). — La même, deux jours après, avec relèvement géniculé aux nœuds *A* et *B*. On remarque dans ceux-ci l'allongement de la face inférieure.

PLANCHE XI

Héliotropisme

De même que la gravitation, la distribution asymétrique de la lumière provoque des courbures chez les végétaux. Ce phénomène a reçu les noms d'*héliotropisme* ou de *phototropisme*. Il se présente, lui aussi, sous trois modalités principales : l'héliotropisme positif ou héliotropisme proprement dit, l'héliotropisme négatif ou aphéliotropisme, et l'héliotropisme transversal ou diahéliotropisme.

La plupart des tiges sont positivement héliotropiques; mais, comme l'action de la lumière est interrompue pendant la nuit, au lieu que la gravitation agit d'une manière continue et avec une direction constante, les phénomènes héliotropiques sont souvent plus ou moins masqués par ceux du géotropisme. Lorsque les deux actions interviennent simultanément, l'organe prend, en général, une direction intermédiaire, sorte de résultante physiologique, entre les deux forces qui le sollicitent. C'est ce qui se produit chez l'*Helianthus* : éclairé horizontalement et soumis en même temps au géotropisme négatif, il incline sa tige à 45° de la verticale (figures 1 et 2). Il en est ainsi pour un certain nombre d'espèces (*Ricinus communis, Helianthus*). Ailleurs, l'action héliotropique prédomine au point de se faire seule sentir et d'éliminer complètement le géotropisme, comme chez les Mucoracées *Phycomyces* et *Pilobolus*; ailleurs encore, l'héliotropisme est au moins très prépondérant : *Avena sativa*, *Linum usitatis-*

simum, Lepidium sativum, etc. ; ou bien, au contraire, c'est le géotropisme qui l'emporte légèrement : *Cucurbita Pepo* (Czapek).

Planche XI. — Figures 1-2. Héliotropisme positif.

Nous retrouvons pour l'héliotropisme la concordance entre la zone de croissance et la zone de courbure déjà signalée pour le géotropisme, ce dont il est possible de s'assurer par nos figures.

Les exemples d'héliotropisme négatif sont moins fréquents et d'ordinaire moins frappants que ceux d'héliotropisme positif. Beaucoup de racines terrestres

présentent de l'héliotropisme négatif, mais souvent si faible qu'il faut, pour le mettre en évidence, éliminer le géotropisme au moyen d'une rotation lente autour d'un axe horizontal (clinostat). D'autres sont indifférentes à la direction de la lumière; plusieurs même sont douées d'héliotropisme positif. La plupart des racines aériennes, les rameaux adultes du Lierre (*Hedera Helix*), les vrilles des Vitacées présentent un héliotropisme négatif bien marqué. Mais l'un des cas les plus remarquables nous est fourni par la région hypocotylée du Gui (*Viscum album*), où l'héliotropisme négatif a été découvert par DUTROCHET.

Les baies de *Viscum album* sont entourées d'une couche visqueuse, qui fournit la glu, et grâce à laquelle

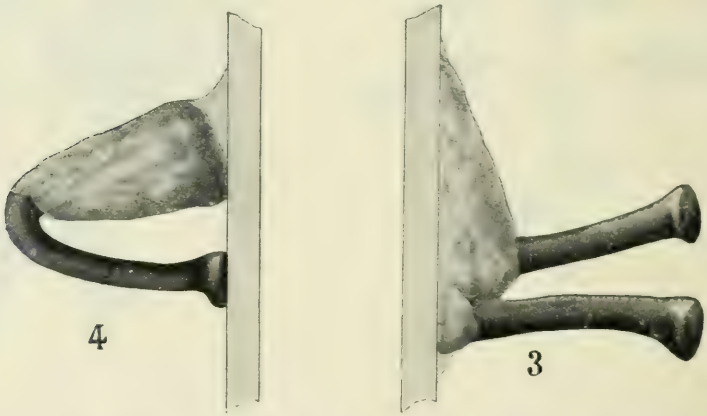


PLANCHE XI. — FIGURES 3-4. HÉLIOTROPISME NÉGATIF.

se fait l'adhérence au support (figure 4). La germination peut s'effectuer sur un substrat inerte, du verre par exemple, ou sur les branches d'un grand nombre d'arbres, notamment le Pommier (*Pirus Malus*), le Peuplier de Virginie (*Populus monilifera*), l'Aubépine

(*Crataegus oxyacantha*) ; et parfois sur le Gui lui-même. Mais cette germination n'est jamais immédiate : elle n'a pas lieu avant le mois de mars de l'année qui suit la maturité de la baie. Cette période de repos que les graines de *Viscum album* doivent traverser s'expliquerait, d'après WIESNER, par les transformations lentes que les réserves subissent après la maturité, par l'intervention de la lumière et surtout par la présence, dans le mucilage environnant, d'une matière qui retarde la germination.

Même après la période de repos, les graines ne germent qu'à une lumière assez intense. Elles renferment généralement un ou deux embryons (figures 3 et 4), rarement trois. Les cotylédons restent enfermés dans la graine d'où sort l'axe hypocotylé terminé par un épatement, que l'on prend quelquefois à tort pour une radicule. C'est cet axe hypocotylé qui présente à un haut degré l'héliotropisme négatif. Si l'on applique des graines sur la face extérieure et sur la face intérieure de la vitre d'une fenêtre, on constate donc que dans le premier cas l'axe hypocotylé se recourbe contre le verre (figure 4), tandis que dans le second, il s'écarte de cette surface (figure 3). A cet héliotropisme négatif s'ajoute plus tard un géotropisme faible. Ces deux propriétés ont pour effet de diriger et d'appliquer l'épatement terminal de l'hypocotyle du Gui contre l'écorce de l'arbre sur lequel il germe; le géotropisme négatif intervient surtout pour les graines fixées par hasard à la face inférieure des branches et, par conséquent, peu exposées à la lumière.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XI

FIGURE 1 (1/1). — Tige feuillée d'*Helianthus tuberosus* cultivé en pot, qui a été éclairée également de toutes parts.

FIGURE 2 (1/1). — La même tige, après avoir été exposée pendant quatre jours à un éclairement unilatéral venant presque horizontalement de gauche. Elle restait soumise en même temps au géotropisme, et son extrémité s'est dirigée à 45° avec l'horizontale, par l'effet combiné du géotropisme négatif et de l'héliotropisme positif.

Dans les deux figures, les entre-nœuds inférieurs de la tige sont dessinés au même niveau : ce qui permet de se rendre compte de la croissance La concordance entre la zone d'allongement et la zone de courbure est, de nouveau, ici très manifeste, comme on le voit par les chiffres suivants :

Numéros des entrenœuds à partir du sommet	Longueur des entrenœuds au début de l'expérience (figure 1), en millimètres	Longueur des entrenœuds à la fin de l'expérience, après 4 jours (figure 2), en millimètres	
I	8	16	
II	20	30	
III	28	33	— C'est ici que
IV	34	34	commence la
V	34	34	courbure.
VI	39	39	
VII	50	50	
VIII	65	65	
Longueur totale :	278	Longueur totale :	301

Allongement : 301 - 278 = 23 millimètres.

FIGURE 3 (30/1). — Graine de *Viscum album*, qui a été posée sur la face postérieure de la vitre d'une fenêtre au midi. La lumière est supposée venant de gauche. Cette graine (posée le 8 mars 1895 et fixée par l'alcool le 10 juin suivant) renfermait deux embryons

dont les axes hypocotylés se sont dirigés en sens opposé à la source lumineuse (héliotropisme négatif). On remarque ici que l'épatement terminal de ces axes n'est pas dû à une pression sur le support.

Figure 4 (30/1). — Graine semblable, posée sur la face antérieure de la vitre de la même fenêtre. Par suite de l'héliotropisme négatif, l'axe hypocotylé s'est, ici, recourbé en arrière et son épatement terminal s'applique sur le support. Cette graine (posée le 8 mars 1895 et fixée le 10 juin suivant) ne renfermait qu'un seul embryon. — Dans cette figure, la couche visqueuse par laquelle la graine colle au support est bien visible.

Nous devons ces beaux spécimens de *Viscum* à l'obligeance de M. Charles Guérin, propriétaire au Mesnil-Thébault (Manche), qui s'occupe depuis longtemps et avec succès de la germination et de la culture du Gui.

PLANCHE XII

Plantes volubles

Les plantes volubles sont celles dont la tige s'enroule autour d'un support. L'enroulement peut être dextrorse ou sinistrorse; ou, pour employer les termes qui ne donnent lieu à aucune équivoque, direct, c'est-à-dire, dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre (*Humulus, Lonicera, Dioscorea Batatas*), ou inverse, c'est-à-dire en sens contraire *(Convolvulus, Ipomoea purpurea, Phaseolus, Aristolochia, Menispermum, Dioscorea sativa)*. Ce dernier cas est le plus fréquent. Le sens dans lequel la plante s'enroule est rarement variable, comme chez le *Blumenbachia* et chez notre *Solanum Dulcamara*.

L'enroulement d'une tige peut être ramené à l'action combinée de trois facteurs :

La *croissance;*

Le *mouvement révolutif* dû au géotropisme latéral, par suite duquel la tige, soumise à l'action de la gravitation, tend à faire croître l'un de ses flancs latéraux plus que l'autre;

Enfin, le *géotropisme négatif*.

Grâce à la croissance, l'extrémité de la tige avance dans l'espace; grâce au mouvement révolutif, elle s'enroule; grâce au géotropisme négatif, elle s'élève. De cette manière, elle balaie l'espace environnant, rencontre tout support situé à sa portée, l'entoure en hélice dans le sens de sa révolution et se serre de plus en plus contre lui. L'intervention du géotropisme négatif fait

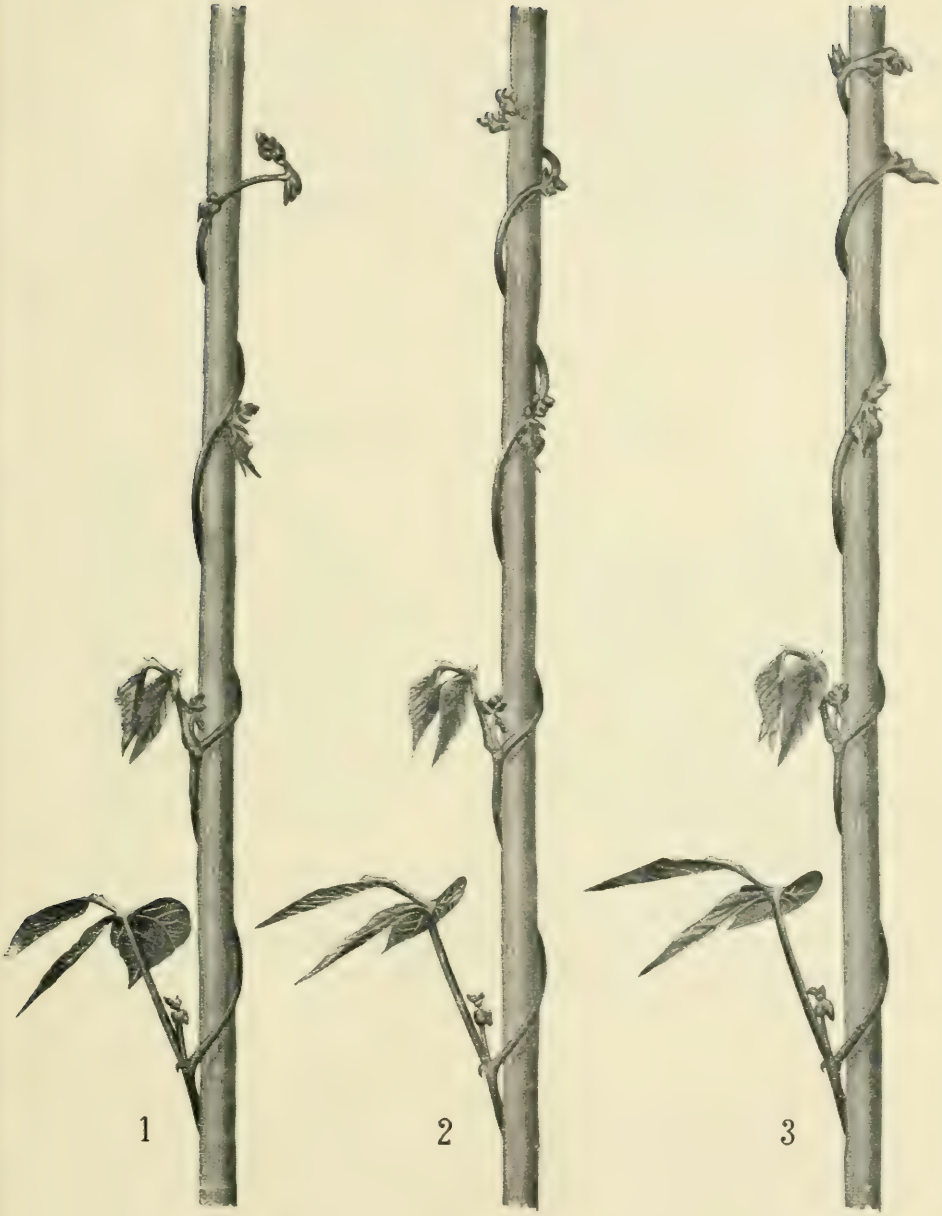


Planche XII. — Plantes volubles.

comprendre que la tige ne s'enroule pas autour d'un tuteur horizontal ou peu oblique.

Notre planche montre trois stades successifs de l'enroulement d'une même tige de Haricot *(Phaseolus multiflorus)* photographiée de trois en trois heures environ. Pour l'intervention du géotropisme, voir également les figures 6 et 7 de la planche XIII.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XII

Figures 1, 2 et 3 (2/1). — Trois stades successifs de l'enroulement d'une tige de *Phaseolus multiflorus* autour d'un tuteur, photographiés le même jour : figure 1, à 11 heures 1/2 du matin ; figure 2, à 3 heures ; figure 3, à 5 heures 1/4 de l'après-midi.

La base des figures étant dessinée exactement au même niveau, on constate, par le déplacement des deux bourgeons les plus voisins du sommet, que la croissance est localisée dans le haut de la tige. Pendant la durée de l'expérience, l'extrémité de la tige a fait un tour presque complet, par suite de son mouvement révolutif, qui a lieu en sens inverse de la rotation des aiguilles d'une montre.

Le géotropisme négatif de la tige a eu pour effet de redresser les tours de spire après leur formation, ce qui se constate en comparant ceux de la base avec ceux du sommet. Il en résulte que la tige voluble étreint de plus en plus son support.

PLANCHE XIII

Plantes volubles et plantes grimpantes

L'expérience que représentent les figures 6 et 7 met très nettement en évidence le géotropisme des tiges volubles. Si l'on retourne complètement une tige de Haricot (figure 6), on voit ses tours de spire les plus jeunes se dérouler et se détacher peu à peu du tuteur, puis l'extrémité se relève, exécute son mouvement révolutif et s'enroule de nouveau de bas en haut (figure 7). Les parties de la tige où l'allongement a cessé n'abandonnent pas le support et conservent la situation qu'on leur a imposée. Toutefois, les feuilles, même dans cette région adulte, réagissent sous l'influence de la gravitation et exécutent, au moyen de leurs renflements moteurs, une courbure géotropique intense.

Cela est manifeste pour toutes les feuilles de ces figures, surtout pour la plus grande d'entre elles. Malgré la position tout à fait anormale de la tige, les feuilles arrivent ainsi à faire reprendre à leurs limbes leur orientation naturelle. Comme nous l'avons indiqué à propos de la planche X, ce relèvement géotropique des feuilles articulées a ceci de remarquable qu'il s'exécute sans croissance définitive et qu'il reste toujours réversible.

Les plantes grimpantes diffèrent des plantes volubles en ce qu'elles s'attachent aux supports par des organes spéciaux sensibles au contact. Ces organes sont parfois de simples racines (*Vanilla*), des pétioles (*Clematis Vitalba*, *Tropaeolum*), ou des parties de feuilles à peine

Planche XIII. — Figures 6-7. Plantes volubles : Haricot renversé.

modifiées (*Fumaria*). Mais dans les cas typiques, ils se sont transformés en longues *vrilles* filiformes. Nous en avons vu des exemples chez la Vigne (*Vitis vinifera*,

PLANCHE XIII. — FIGURES 1-5. PLANTES GRIMPANTES.

planche IV, figures 2-3). Examinons-en de plus près le fonctionnement chez une Cucurbitacée, la Bryone (*Bryonia dioica*).

On a représenté à la figure 1 un rameau de cette plante muni de plusieurs vrilles. L'une d'elles n'a rencontré aucun support et finira par s'enrouler inutile-

ment en spirale. Deux autres se sont enroulées autour d'une branche ligneuse, l'une dans le sens direct du mouvement des aiguilles d'une montre, l'autre dans le sens inverse. Chez deux autres, on constate, outre l'enroulement de la portion terminale, la torsion en tire-bouchon de la base des vrilles. Enfin, une baguette a été mise en contact avec la vrille la plus jeune (à droite) : les figures 2 à 4 nous montrent, à une échelle plus grande, la marche de cette expérience.

De même que pour les plantes volubles, il faut d'abord tenir compte ici de la *croissance* de l'organe. En second lieu, l'allongement ne se faisant pas d'une manière uniforme sur toutes les faces longitudinales de la vrille, il en résulte pour celle-ci une courbure (nutation), provoquée par le jeu de ses forces internes; comme la ligne d'allongement maximum se déplace tout autour de son axe, elle exécute ainsi une nutation révolutive ou *circumnutation*. L'extrémité de la vrille s'infléchit donc successivement en tous sens et balaie l'espace environnant, ce qui multiplie ses chances de rencontrer un support.

Un troisième facteur intervient d'une façon essentielle : la sensibilité au contact ou *haptotropisme*. Une vrille se courbe vers tout objet qui frotte contre elle, parce que la croissance de la face touchée est ralentie; si le contact se prolonge, elle arrive donc bientôt à enlacer étroitement l'objet étranger (figures 3 et 4).

On voit que le mouvement des vrilles, qui offre en apparence quelque analogie avec celui des tiges volubles, en diffère en ce qu'il est tout à fait indépendant du géotropisme. Aussi, l'enroulement de la vrille se fait-il indifféremment de bas en haut ou de haut en bas, et quelle que soit la direction du tuteur.

Dès que la vrille a touché un support, l'excitation se

propage à la fois vers son extrémité libre qui s'enroule graduellement par de nouveaux tours de spire, et vers sa base qui ne peut s'enrouler autour du support, mais se contracte en hélice (figure 5). Sous peine d'arracher la vrille à son attache, cette hélice ne peut avoir tous ses tours dirigés dans le même sens et il se produit, de place en place, des points d'inversion (1), visibles dans les figures 1 et 5. Il ne s'agit pas dans cette inversion d'une adaptation physiologique spéciale : c'est une simple conséquence mécanique, qui se produit tout aussi bien dans un ressort en caoutchouc qu'on laisse se contracter en fixant ses deux bouts.

La torsion hélicoïdale de la base de la vrille a pour effet d'exercer une traction sur la tige, tout en lui laissant un certain jeu. La plante est ainsi fixée de tous côtés par ses vrilles, comme un navire est attaché par ses amarres.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XIII

FIGURE 1 (3/4). — Rameau de *Bryonia dioica*, accroché au moyen de ses vrilles. L'une de celles-ci s'est enroulée en sens direct, une autre en sens inverse de la rotation des aiguilles d'une montre. Deux vrilles plus âgées présentent, vers leur base, une contraction en hélice avec point d'inversion. Une vrille plus jeune, dont l'extrémité est incurvée, n'a pas saisi de support. Enfin, la plus proche du sommet a été mise en contact avec une baguette de bois : c'est à cette même vrille que se rapportent les figures 2 à 4.

(1) Nous appelons *point d'inversion* l'endroit où la rotation d'un organe végétal passe du sens direct au sens inverse. Ce terme nous paraît préférable à celui de « point de rebroussement » qui a déjà, en géométrie, une signification différente.

FIGURE 2 (2/1). — La vrille supérieure de la figure 1, mise en contact avec une baguette de bois, à 4 heures.

FIGURE 3 (2/1). — La même vrille, à 4 heures 15. L'extrémité s'est recourbée au point de contact.

FIGURE 4 (2/1). — La même vrille, à 6 heures 5. Elle a accompli un tour entier.

FIGURE 5 (2/1). — Une vrille âgée de *Bryonia dioica* dont l'extrémité s'est enroulée autour d'une baguette en sens direct, et dont la partie inférieure s'est contractée en hélice avec un point d'inversion.

FIGURE 6 (1/1). — Tige d'une plante en pot de *Phaseolus multiflorus* enroulée autour de son tuteur, qui a été retournée la pointe en bas. Le renflement moteur de la feuille la plus âgée est bien visible.

FIGURE 7 (1/1). — Le même spécimen de *Phaseolus*, après quarante heures d'expérience : les tours de spire les plus jeunes se sont détachés, puis enroulés de nouveau autour du tuteur, de bas en haut — Cette expérience montre l'importance du géotropisme négatif dans l'enroulement des plantes volubles. Toutes les feuilles se sont également relevées par la courbure géotropique de leurs renflements moteurs.

PLANCHE XIV

Mouvements foliaires et floraux — Sensitive

Les organes des végétaux accomplissent encore d'autres mouvements que ceux dont il vient d'être question (géotropisme, héliotropisme, haptotropisme) et qui dépendent de l'influence unilatérale des agents extérieurs. Tel est le cas pour les mouvements dits de veille et de sommeil, pour les mouvements de la Sensitive et de divers organes floraux auxquels la planche XIV est consacrée.

Beaucoup de fleurs s'ouvrent ou se ferment suivant l'intensité de la chaleur et de la lumière qu'elles reçoivent. C'est ainsi qu'il suffit de transporter des fleurs de *Tulipa* ou de *Crocus* dans un espace chauffé pour provoquer leur épanouissement en quelques minutes. Et le passage d'un nuage sur le soleil peut déjà amener la fermeture des fleurs d'*Erythronium* et des capitules de certaines Composées.

Ces mouvements s'exécutent par une croissance inégale des deux faces des pétales et ne sont possibles qu'aussi longtemps que dure la croissance. Un grand nombre de feuilles se conduisent de même : Balsaminacées, Convolvulacées, diverses Solanacées, etc. Ici encore, la courbure est liée à la croissance et se fait par son intermédiaire.

Mais il en est autrement pour les feuilles pourvues de renflements moteurs : on en voit surtout parmi les Léguminées et les Oxalidacées. Ces feuilles articulées sont tout spécialement adaptées à l'accomplissement des mouvements de veille et de sommeil. Nous

avons déjà signalé chez le *Phaseolus* (planche XIII) les renflements moteurs de la base du pétiole général et de chacune des folioles. Il en existe de pareils chez l'*Oxalis* (planche XIV, figures 1 et 2) et chez le *Mimosa* (figures 5 et 6). Ces renflements se caractérisent d'ordinaire par la réunion des faisceaux vers l'axe et le développement considérable du parenchyme, siège de la turgescence.

PLANCHE XIV. — FIGURES 1-2. « VEILLE » ET « SOMMEIL » DES FEUILLES.

Si l'on recouvre d'une cloche noire un pied d'*Oxalis Acetosella* dont les feuilles sont étalées (position de veille, figure 1), on constate, après une heure environ, qu'une courbure énergique s'est produite à chaque renflement et a déterminé le rabattement des folioles les unes contre les autres (position de sommeil, figure 2). Toutefois, les feuilles très jeunes ne présentent pas cette sensibilité.

Chez la plupart des plantes à feuilles mobiles, une clarté trop vive amène une position semblable à celle du sommeil : c'est ce qu'on a parfois nommé position de sieste diurne. Notre *Oxalis* qui est une plante

des lieux ombragés présente déjà cet effet par une lumière diffuse modérément intense.

De même qu'on l'a indiqué pour leurs courbures géotropiques (et héliotropiques), les mouvements de veille et de sommeil des renflements moteurs se font sans croissance définitive, par de simples modifications de la turgescence et par conséquent du volume des cellules. A la vérité, des variations de turgescence déterminées par les conditions extérieures ont lieu pendant toute la durée des vingt-quatre heures et font se déplacer incessamment les folioles. Mais ces mouvements s'accélèrent vers le matin et vers le soir, amenant ainsi un passage relativement rapide de la position de sommeil à celle de veille, et vice versa.

Une plante qu'on laisse à l'obscurité ou à la lumière continues ne conserve pas indéfiniment, comme on pourrait le croire, l'attitude du sommeil ou celle de la veille. Habituée aux alternances quotidiennes d'éclairage, elle en a gardé en quelque sorte le souvenir, et passe encore d'elle-même, pendant quelques jours, de la position diurne à la position nocturne, et réciproquement. Ces mouvements induits s'affaiblissent peu à peu et finissent par s'arrêter.

Il existe enfin chez ces feuilles, à des intervalles plus ou moins réguliers, des mouvements dus à des fluctuations de la turgescence, indépendamment des conditions externes : on les a appelés mouvements autonomes périodiques.

En dehors de tous les mouvements propres aux feuilles articulées que nous venons d'énumérer, les feuilles de la Sensitive (*Mimosa pudica*) répondent, comme on sait, à un contact par des déplacements brusques. Cette Léguminée brésilienne a des feuilles

bipennées : les premières formées n'ont qu'une paire de segments, les suivantes en ont deux paires (figure 5). Chaque segment comprend un grand nombre de folioles. A la base de chaque foliole, de chaque segment et de chaque pétiole principal, il y a un renflement moteur.

Planche XIV. — Figures 5-6. Mouvements des feuilles de Mimosa pudica.

A la suite d'un choc, même léger, tous ces renflements moteurs entrent en action : les folioles se relèvent et s'appliquent l'une contre l'autre, les pétioles secondaires se rapprochent latéralement, le pétiole primaire s'infléchit vers le bas, faisant décrire un trajet consi-

dérable à la feuille tout entière (figure 6). C'est par une expulsion d'eau de l'une des faces des renflements moteurs et par la diminution de volume qui en résulte que le mouvement s'explique. De plus, l'excitation se transmet de proche en proche et peut même se communiquer d'un bout à l'autre de la plante, probablement par l'intermédiaire de grandes cellules à mucilage situées dans le liber (HABERLANDT). Après quelques minutes, la feuille se relève, les folioles s'étalent et ont repris leur situation normale.

Les mouvements que les organes floraux exécutent sous l'influence d'un contact sont en rapport avec la fécondation : ils sont provoqués, dans les conditions naturelles, par les visites des Insectes. Les étamines des Cynarées (*Centaurea,* etc.) et du *Cichorium Intybus*, les stigmates de *Mimulus*, les étamines de *Mahonia* et de *Berberis* en sont des exemples bien connus. C'est le dernier de ces cas que nos figures 3 et 4 représentent.

La fleur de l'Épine-vinette (*Berberis vulgaris*, figure 3) est formée généralement de verticilles trimères : deux externes, jaune verdâtre, constituent le calice ; les deux suivants, dont les pièces, d'un beau jaune, sont munies à la base de deux glandes nectarifères, charnues, orangées, représentent la corolle ; puis viennent deux verticilles d'étamines. Chacune de celles-ci est par conséquent opposée à l'un des pétales et placée entre deux glandes nectarifères ; les anthères s'ouvrent sur le côté au moyen de deux petits clapets. Le gynécée, au centre, est réduit à un seul carpelle, à style presque nul, à stigmate en forme de disque.

Le nectar s'accumule autour de la base de l'ovaire. En venant butiner, les Insectes touchent donc la face interne des filets staminaux près de leur insertion :

aussitôt, les étamines se relèvent vers le centre de la fleur (figure 4) et couvrent de pollen la tête de l'Insecte. Celui-ci, étonné, s'envole d'habitude vers une autre fleur de la même espèce, et, en la visitant, pourra

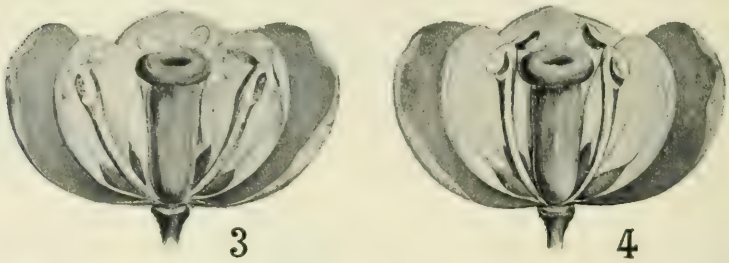


Planche XIV. — Figures 3-4. Mouvement des étamines de Berberis

déposer sur le stigmate une partie du pollen qu'il a emporté. La fécondation allogamique se trouve ainsi réalisée ; toutefois, si les Insectes ont fait défaut, une fécondation autogamique peut intervenir, les étamines se rapprochant du stigmate lorsque la fleur se fane.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XIV

Figure 1 (2/1). — *Oxalis Acetosella*, exposé à la lumière diffuse : position de veille.

Figure 2 (2/1) — La même plante, une heure après avoir été mise sous une cloche noire ; les folioles sont rabattues : position de sommeil. On remarque dans les deux figures, vers le milieu, une jeune feuille encore repliée, qui ne présente point de mouvement. Des deux fruits figurés, le plus grand, à pédicelle dressé, provient d'une fleur ordinaire ou chasmogame ; le plus petit, à pédicelle

recourbé en crochet, d'une fleur qui ne s'ouvre pas — cléistogame —, adaptée spécialement à la fécondation autogamique.

FIGURE 3 (20/1). — Une fleur de *Berberis vulgaris*, après enlèvement des trois sépales, des trois pétales et des trois étamines antérieurs. On voit deux glandes nectarifères à la base des pétales ; la déhiscence des anthères se fait au moyen de clapets.

FIGURE 4 (20/1). — La même fleur, après irritation de la base des filets staminaux : les étamines se sont relevées brusquement vers le disque stigmatique.

FIGURE 5 (1/1). — *Mimosa pudica :* les deux premières feuilles ont une paire de segments pennés, les suivantes en ont deux paires. A la base de chaque segment et du pétiole principal, on voit le renflement moteur.

FIGURE 6 (1/1). — La même plante, après excitation : folioles relevées et appliquées par paires, pétioles secondaires rapprochés latéralement, pétioles primaires infléchis à angle aigu vers le bas.

PLANCHE XV

Variabilité des espèces : races de Choux

De même que tout organisme provient d'une parcelle de la substance vivante d'un individu préexistant, chaque espèce végétale ou animale dérive, selon toute vraisemblance, d'une espèce antérieure, et la classification naturelle n'a d'autre objet que la recherche de la véritable filiation.

Comme on sait, c'est sur l'action combinée de la variation, de la sélection et de l'hérédité que Darwin a fondé pour la première fois une explication satisfaisante de l'origine des espèces. Ces facteurs entrent en jeu chez les plantes et les animaux sauvages, mais leur influence s'exagère et s'exalte en quelque sorte par les procédés de l'élevage et de la culture. Nous voyons naître ici, sous nos yeux, des races et des variétés nouvelles, souvent plus différentes entre elles que les espèces voisines rencontrées à l'état spontané. C'est ainsi que, malgré leur introduction récente dans les jardins, la Pensée (*Viola tricolor*) et les Dahlias (*Dahlia variabilis* et *Dahlia coccinea*) offrent des centaines de variétés distinctes, et que le *Cynara Cardunculus* de la région méditerranéenne est l'ancêtre à la fois du Cardon et de l'Artichaut. Mais l'un des exemples à coup sûr les plus frappants et les mieux étudiés est fourni par les innombrables variétés des Choux.

On doit regarder comme établi, surtout après les études approfondies de Lund et Kjaerskou, que nos diverses formes de Choux cultivés se rattachent à trois

espèces : *Brassica oleracea* L. (Chou potager; en allemand : Kohl), *Brassica campestris* L. (Navette, Rave; en allemand : Rübsen), *Brassica Napus* L. (Colza, Navet; en allemand : Raps).

Planche XV. — Races de Choux (Brassica oleracea).

De la première de ces espèces, Théophraste décrivait trois sortes, Pline six, Tournefort vingt, A.-P. de Candolle plus de trente, Lund et Kjaerskou cent vingt-deux. Notre planche représente quelques-unes des formes les plus remarquables, toutes dessinées à la même échelle, de manière qu'on se rende compte de l'étendue de la variation chez cette espèce et de ce que peut créer une sélection méthodique.

Le type sauvage du *Brassica oleracea* existe dans l'île de Helgoland, sur les côtes de l'Angleterre et de l'Irlande, en Normandie et dans le Pas-de-Calais, à Jersey et Guernesey, sur la côte septentrionale de la Méditerranée, près de Nice, Gênes et Lucques. Nous l'avons observé nous-mêmes, avec toutes les apparences d'une plante spontanée, en Angleterre : sur les rochers près de Douvres, où Morison le signalait déjà en 1657, sur ceux de la côte du Yorkshire et du

pays de Galles; en France : au cap Blanc-Nez (Pas-de-Calais). Le Chou sauvage forme généralement la première année une rosette caulinaire de grandes feuilles

PLANCHE XV. RACES DE CHOUX (BRASSICA OLERACEA).

glauques, pinnatiséquées, lyrées, à lobe terminal très ample. L'année suivante, il se ramifie plus ou moins, puis fleurit et fructifie (figure 1). Si l'hiver n'est pas

trop rigoureux, il peut très bien vivre une troisième année ou même davantage, et fleurir plusieurs fois de suite. Il se ramifie alors beaucoup et produit, à l'extrémité de chacune de ses branches, de nombreuses

Planche XV. — Races de Choux (Brassica oleracea).

feuilles de petites dimensions (figure 2). On remarque de grandes différences entre le Chou sauvage et ses variétés cultivées, au point de vue des organes végétatifs, sur lesquels a précisément porté la sélection de l'homme, tandis qu'on n'en constate guère dans l'inflorescence, les fleurs, les siliques et les graines.

Parmi les 122 variétés de *Brassica oleracea* qu'ils étudient, Lund et Kjaerskou ont établi six groupes :

1° *Brassica oleracea* L. *acephala* DC. (Chou non pommé; en allemand : Blätterkohl), à tige allongée et à feuilles étalées. A ce groupe se rapporte le Chou frisé d'hiver de notre figure 3.

2° *Brassica oleracea* L. *gongylodes* L. (Chou-rave; en allemand : Kohlrübe). Tige courte, renflée en boule à la base des feuilles. Nous avons représenté le Chou-rave violet de Vienne (figure 5).

3° *Brassica oleracea* L. *gemmifera* DC. (Chou de Bruxelles, Chou à rosettes; en allemand : Rosenkohl, Brüsseler Sprossenkohl). Bourgeons capités nombreux à l'aisselle des feuilles (figure 7).

4° *Brassica oleracea* L. *sabauda* L. (Chou pommé frisé, Chou de Milan, Chou de Savoie; en allemand : Welschkohl, Wirsing). Feuilles bosselées, cloquées, qui restent rassemblées en un bouton (pomme) plus ou moins serré.

5° *Brassica oleracea* L. *capitata* DC. (Chou cabus, Chou pommé non frisé ; en allemand : Kopfkohl, Kraut), caractérisé par ses feuilles lisses formant une pomme généralement dense, souvent blanche ou rouge. La figure 6 représente le Chou rouge gros ordinaire.

6° *Brassica oleracea* L. *Botrytis* L. (Chou-fleur; en allemand : Blumenkohl). Inflorescence raccourcie,

hypertrophiée, blanchâtre, charnue, à fleurs rudimentaires. Parfois, cette masse est énorme et sa nature florale est méconnaissable. Nous avons choisi de préférence (figure 4) un exemplaire à inflorescence modérément développée et parsemée encore de petites feuilles qui en démontrent l'origine.

Enfin, la figure 8 se rapporte à une variété géante cultivée à Jersey, qui se rattache au groupe *Brassica oleracea acephala* et a été désignée sous le nom de variété *procera* Alefeld. La plante, semée en automne, atteint son plein développement dès le mois de juillet suivant. Sa tige, simple et verticale, dépasse alors notablement la taille d'un homme (figure 8) : elle mesure plus de 2 mètres, parfois jusqu'à 3 et même près de 5 mètres (d'après S. Curtis). Elle est employée à Jersey en guise de canne. On a l'habitude d'enlever les feuilles pour l'alimentation du bétail à mesure que la tige grandit. William Hooker attribuait à cette pratique l'énorme accroissement en hauteur de la plante; mais il faut y voir plutôt l'effet d'une sélection prolongée et aussi du climat doux et humide des îles de la Manche, puisque les mêmes graines, semées ailleurs, produisent des plantes qui, tout en étant élevées, sont loin d'atteindre une aussi grande hauteur.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XV

Figure 1 (1/4). — Portion d'un pied fleuri et fructifié de *Brassica oleracea* L., sauvage, âgé de deux ans, récolté sur les rochers du bord de la mer (Great Orme's Head, Pays de Galles), en septembre 1892.

Figure 2 (1/4). — Un autre pied de *Brassica oleracea* L.,

sauvage, du même endroit et de la même date, ramifié et portant de nombreuses branches feuillées, âgé probablement de trois ans.

Ces deux spécimens avaient été photographiés sur place.

Fig. 3 (1/4). — Chou vert frisé d'hiver, cultivé (forme du groupe *Brassica oleracea* L. *acephala* DC.).

Figure 4 (1/4). — Chou-fleur, cultivé (forme du groupe *Brassica oleracea* L. *Botrytis* L.).

Figure 5 (1/4). — Chou-rave violet de Vienne, cultivé (forme du groupe *Brassica oleracea* L. *gongylodes* L.).

Figure 6 (1/4). — Chou rouge gros ordinaire, cultivé (forme du groupe *Brassica oleracea* L. *capitata* DC.).

Figure 7 (1/4). — Chou de Bruxelles, cultivé (forme du groupe *Brassica oleracea* L. *gemmifera* DC.).

Figure 8 (1/4) — Chou cavalier ou à vaches, cultivé à Jersey : *Brassica oleracea* L. *procera* Alefeld (forme du groupe *Brassica oleracea* L. *acephala* DC.). — D'après une photographie exécutée pour ces planches, grâce à l'obligeante intervention de MM. Brée et De La Mare, de Saint-Hélier. Le spécimen figuré mesurait $2^{m}15$ à partir du sol.

LETTRE PRÉFACE (1)

A LA FLORE DES ALGUES DE BELGIQUE

PAR E. DE WILDEMAN

CHER MONSIEUR,

Votre livre est utile et il vient au bon moment.

Cet éloge a été tant prodigué qu'il peut sembler banal ; le mérite qu'il proclame ne l'est pas.

La connaissance de la végétation de notre pays s'est beaucoup répandue et, à ce propos, laissez-moi vous conter un vieux souvenir.

Il y a de cela vingt ans — peut-être même y en a-t-il vingt-cinq — quelques camarades et moi nous faisions nos toutes premières excursions botaniques sous la conduite d'un maître excellent, feu LOUIS PIRÉ, qui était professeur à l'Athénée de Bruxelles. Les paysans des environs, peu habitués encore à voir passer des bandes de gamins ornés de grandes boîtes vertes, se demandaient avec curiosité ce que nous faisions et ce que nous cherchions. Les plus perspicaces donnaient à entendre que nous devions être des voleurs de pommes de terre...

Aujourd'hui, grâce au personnel enseignant de nos écoles communales, si vaillant, si dévoué, presque tous

(1) Cette préface a paru en 1896.

les enfants sont devenus quelque peu botanistes et les braves campagnards ne se retournent même plus : ils en ont tant vu de ces savants *en herbe !*

En même temps que l'étude de la botanique s'est propagée ainsi en surface, d'année en année elle a gagné en profondeur. Le nombre est grand de nos amateurs qui connaissent à fond la végétation phanérogamique de leur coin du pays, et il était temps de leur ouvrir de nouveaux champs d'exploration. Vous avez pensé avec raison qu'il y aurait avantage à diriger leur attention vers l'étude, encore si négligée, de nos Algues.

Aucun ouvrage jusqu'à présent ne décrit l'ensemble des Algues de notre pays. Nous avions la *Flore cryptogamique* de Kickx. Mais elle ne s'occupe que des Flandres et elle date de 1867. Quoiqu'elle fût très méritante pour l'époque, elle n'est évidemment plus en rapport avec l'état actuel de la science.

Cette lacune n'est point spéciale à la Belgique. Nos voisins du Midi ne sont guère mieux partagés que nous : une flore algologique descriptive, passablement complète, leur fait également défaut et votre travail sera, je pense, le premier de ce genre en langue française.

La tentative était donc hardie, et je me réjouis de votre ardeur de jeunesse qui nous vaut une si heureuse audace. Car personne mieux que vous n'était à même d'entreprendre et d'accomplir cette tâche. Ne vous êtes-vous pas, dès vos débuts, consacré avec une véritable passion à l'étude des Algues et n'en avez-vous pas déjà, sur plus d'un point, fait progresser la connaissance systématique ? Sans doute, d'autres objets vous ont sollicité aussi. Je m'en voudrais d'oublier qu'à l'époque

où vous suiviez les cours du doctorat, vous avez découvert par la microchimie un alcaloïde inconnu dans les tissus de certaines Orchidées et que vous avez su ramener bien des formes et des attaches exceptionnelles que présentent les membranes des cellules, à la règle commune de la physique moléculaire. Mais vous reveniez toujours à l'algologie, presque confus de lui avoir été infidèle. Ne semble-t-il pas qu'il y eût, entre elle et vous, un de ces « nœuds secrets et de ces sympathies » dont parle CORNEILLE dans un de ses vers les plus tendres, égaré au milieu de l'une de ses plus sombres tragédies ?

Pour rédiger cette flore, il fallait connaître profondément les Algues, avoir parcouru le pays en les récoltant, rassembler les renseignements contenus dans notre littérature scientifique, revoir les matériaux que d'autres botanistes vous envoyaient des quatre coins de la Belgique, et de ces éléments épars faire un tout méthodique et coordonné. Vous y avez réussi. Il n'y a qu'à louer la sûreté de vos informations, l'étendue de vos recherches, votre soin et votre esprit critique. Êtes-vous parvenu à réaliser d'emblée une œuvre parfaite? Non, sans doute; cela était impossible et vous êtes le premier à le déclarer. Mais vous avez solidement construit toute la charpente; il ne vous restera plus, dans la suite, qu'à parachever l'édifice.

Toutes les Algues (sauf les Bactéries) sont passées en revue dans votre flore, depuis les Characées jusqu'aux Cyanophycées, sans omettre les Algues brunes et les Algues rouges. Suivant une vieille tradition, vous avez commencé par le haut de chacune de ces séries. L'ordre inverse, celui de la complication progressive, n'est-il pas plus rationnel? Peut-être; mais, après tout, cela

importe assez peu. Une flore doit servir principalement à reconnaître et à classer les espèces, et c'est un point assez secondaire de savoir si tel genre figure au commencement, au milieu ou à la fin du volume.

A coup sûr, la récolte et la détermination des espèces ne font pas toute l'histoire naturelle et l'on n'est pas un botaniste par cela seul qu'on appelle *Bellis* ce que tout le monde nomme une Pâquerette. Il faut chercher à expliquer la structure des organismes, en comparant leurs formes, en analysant leurs fonctions, en saisissant leurs habitudes, en s'efforçant, en un mot, de les comprendre. Tout être vivant est un problème : ce n'est pas le résoudre que de lui donner un nom latin.

Est-il besoin de rappeler aussi combien l'observation de la vie souterraine des plantes, les divers moyens de défense dont elles disposent et leur inégale efficacité, la fécondation par l'intermédiaire des Insectes, leurs procédés variés de dissémination, leur mode d'existence individuelle et leur vie sociale, offrent encore de sujets d'étude attrayants, accessibles même pour les simples amateurs d'herborisations ?

Mais la botanique systématique n'en conserve pas moins sa légitime et primordiale importance. Je suis d'autant plus à l'aise pour le proclamer que ce n'est point prêcher pour ma chapelle, puisque, personnellement, mes préférences m'entraînent, vous le savez, d'un autre côté. Distinguer les espèces organiques, se familiariser avec leur aspect, les décrire, les nommer, les classer, ce n'est pas seulement pour beaucoup de naturalistes amateurs un passe-temps agréable et intelligent, qui vaut à tout le moins le tir aux pigeons et les paris de courses, c'est encore pour l'enfant une gymnastique cérébrale excellente, capable, mieux que toute

autre, de lui donner des habitudes de méthode, d'ordre et de clarté. Pour ceux enfin qui veulent aller plus loin dans l'étude de la nature, qui désirent approfondir les grandes questions de l'anatomie, de la morphologie, de la physiologie ou qui aiment à spéculer sur les affinités et la filiation des formes vivantes, la nomenclature et la classification sont des étapes indispensables. A tous ceux-là s'adresse votre flore, et, dès qu'ils sauront s'orienter au milieu de la végétation phanérogamique, ils pourront acquérir, grâce à vous, comme un second degré d'initiation.

Votre livre a encore une autre et, si j'ose dire, une plus haute mission à remplir. Il provoquera des recherches nouvelles, il stimulera le zèle de nos botanistes, il les amènera sûrement à constater une foule d'espèces d'Algues encore ignorées dans notre pays et, après avoir rendu accessible ce qui est déjà connu, vous aurez ainsi beaucoup aidé à faire découvrir ce qui ne l'est pas encore.

Pour les plantes phanérogames, cette époque des fièvres de l'investigation et de la découverte est close en ce qui concerne la Belgique. On peut bien enrichir encore notre flore de quelque Orchidée rare ou de quelque *Carex* critique : le cadre n'en est pas moins fixé définitivement, le tableau est tracé de main de maître dans le *Manuel* de Crépin.

Mais pour les Algues, cette période est à peine commencée et votre livre servira à la fois de stimulant et de guide.

Domburg (Hollande), 25 avril 1896.

UNE LEÇON ÉLÉMENTAIRE SUR LE DARWINISME (1)

Préface de la deuxième édition

Ainsi que cela avait déjà été fait en partie pour la traduction allemande de cette « Leçon élémentaire », nous nous sommes efforcé d'utiliser, pour la deuxième édition, un certain nombre de faits intéressants et suggestifs, découverts depuis peu. Il nous a surtout paru essentiel d'incorporer dans notre exposé les résultats des belles recherches du professeur Hugo de Vries. Son livre : « *Die Mutationstheorie. Versuche und Beobachtungen über die Entstehung der Arten im Pflanzenreich* », dont le dernier fascicule a été publié il y a quelques mois et que nous espérons bien voir mettre prochainement à la portée des lecteurs de langue française, forme, en effet, à notre sens, le complément le plus important que la théorie de l'évolution ait reçu depuis Darwin.

C'est à dessein que nous nous servons du mot de complément.

A en croire certaines appréciations hâtives, il semblerait, il est vrai, que cet ouvrage remarquable renverse

(1) Ce travail a paru pour la première fois dans la *Revue de l'Université de Bruxelles*, 1899-1900, tome V ; une seconde édition revue et considérablement augmentée en a été publiée en 1904 ; c'est celle-ci que nous reproduisons avec addition de quelques-unes des notes et figures que l'auteur destinait à une troisième édition.

les théories du grand naturaliste anglais. Une telle manière de voir n'est pas seulement superficielle et inexacte, elle est encore contredite de la manière la plus formelle par les écrits de DE VRIES lui-même.

Quiconque est familiarisé avec les idées et les argumentations darwiniennes reconnaîtra que la « Théorie de la Mutation » les confirme, les complète et les précise. L'origine des espèces était rattachée par DARWIN aux deux sortes de variations qu'il appelait « individual differences » et « single variations ». Pour DE VRIES, celles-là, en s'additionnant, conduisent aux races, celles-ci seules fournissent les caractères des espèces. De plus, le côté négatif ou destructeur de la Lutte pour l'existence est mis, par lui, au premier plan, plutôt que son action conservatrice. Mais ce n'est là qu'une nuance de mots, car toute lutte aboutit à la victoire des uns en même temps qu'à la défaite des autres. Et, comme on le constatera plus loin, DE VRIES, à l'exemple des darwinistes, voit dans cette lutte et dans la sélection naturelle qui en résulte le principal facteur de l'accumulation progressive des légères variations avantageuses et, par là, de la finalité dans la nature.

La notion de la sélection naturelle conserve donc, au point de vue scientifique comme au point de vue philosophique, sa haute et durable signification.

Si nous réussissions à montrer, dans le cadre modeste de cet exposé, que la théorie de la mutation et celle de la sélection, loin de s'exclure, se peuvent combiner en un ensemble harmonique, nous croirions n'avoir pas fait œuvre tout à fait superflue.

Après avoir conquis les milieux purement scientifiques, l'idée de l'évolution et de la descendance des

espèces a commencé, depuis quelques années, à recruter des adhérents de plus en plus nombreux parmi ceux qui poursuivent une conciliation chimérique entre la science et le dogme. De là des efforts parfois héroïques, des déchirements souvent douloureux, dont quelques-uns ont eu un retentissement considérable, mais dont la plupart, ensevelis dans le for de la conscience, demeureront à jamais ignorés. Le darwinisme a provoqué ainsi, parmi les croyants, une crise intellectuelle très grave, dont le dénouement approche. Comme rien ne saurait mieux prouver la profondeur de son action sur les esprits, il ne nous a pas semblé hors de propos de retracer, à grands traits, l'histoire de cette crise, en tête de cet opuscule.

Vivier d'Oye, près Bruxelles, 1er août 1903.

INTRODUCTION

L'idée d'évolution et de continuité est victorieuse aujourd'hui dans les sciences naturelles, elle domine les sciences physiques, elle a pénétré toutes les sciences morales, elle a donné son empreinte à notre conception du monde et de l'Homme. De même que jadis COPERNIC avait réduit la Terre orgueilleuse à n'être qu'un petit satellite du Soleil, qu'un grain perdu dans l'infini des cieux, ainsi DARWIN a remis l'Homme à sa place dans la nature.

Une fois de plus, la légende biblique qui isole la Terre et l'Homme en face de tout le reste du monde s'est trouvée atteinte. Et la théologie, une fois de plus, se prépare à battre prudemment en retraite.

Cette crise, peu apparente pour les profanes, que l'Eglise subit en ce moment, est significative. Elle produit un désarroi poignant chez les plus intelligents d'entre les catholiques. Elle vient cependant à la suite de vingt déchirements analogues, car l'histoire du progrès intellectuel dans la chrétienté depuis quinze siècles est faite, presque tout entière, de découvertes et d'idées que la théologie a d'abord condamnées et qu'elle a, chaque fois, fini par devoir admettre.

Il suffira de citer quelques-unes de ces défaites successives (1).

(1) Consulter à ce sujet l'ouvrage très documenté de A. D. WHITE, *A history of the warfare of science with theology in christendom* (Londres et New-York, Mac Millan & Co, 1898; traduction française : *Histoire de la lutte entre la Science et la Théologie*, Paris, Guillaumin, 1899).

Ne sait-on pas, malgré l'influence toute-puissante d'ARISTOTE sur la scolastique, quel accueil l'Église fit, au commencement du XIIIe siècle, à celles des œuvres du Stagirite qu'elle avait ignorées jusque-là et qui n'étaient point comprises dans l'*Organon* traditionnel ? Ces ouvrages, que les traductions et les commentaires des Arabes et des Juifs venaient de révéler à l'Occident chrétien, le Concile de Paris de 1210 en interdit la lecture, soit en public, soit en secret « sous la peine de l'excommunication », et l'interdiction est solennellement renouvelée, en 1215, dans les statuts donnés « à perpétuité » à l'Université de Paris par le légat du Pape. Cependant, le XIIIe siècle n'était pas écoulé que déjà l'Église éteignait ses foudres : elle s'emparait maintenant de ces mêmes écrits d'ARISTOTE et les imposait, fût-ce par la force (1).

Après qu'un écrivain chrétien illustre, LACTANCE, se fût écrié : « Est-il quelqu'un d'assez fou pour croire qu'il y a des hommes dont les pieds sont au-dessus de leur tête?... que les moissons et les arbres croissent vers le bas? », après que le plus fameux des Pères, SAINT AUGUSTIN, eût invoqué, contre l'existence d'antipodes, des textes des Écritures, toute l'Église (y compris SAINT BONIFACE et le pape SAINT ZACHARIE) en nia la possibilité pendant plus de mille ans. Peu à peu, elle fut obligée pourtant, à la suite des voyages de CHRISTOPHE COLOMB et de MAGELLAN, d'en avouer la réalité.

Il en fut du mouvement de la Terre comme de sa rotondité. L'échec lamentable des efforts que l'orthodoxie ne cesse de tenter pour travestir l'histoire de

1 On peut voir, pour plus de détails, mon étude : *A propos de l'Église et de la Science* (*Revue de l'Université de Bruxelles*, tome III, mai 1898, page 561), [ou le volume *Philosophie* du présent Recueil.]

GALILÉE, est aujourd'hui constaté dûment : c'est bien sur l'ordre du pape URBAIN VIII, en l'emprisonnant et en le menaçant de la torture, que l'Inquisition contraignit GALILÉE à abjurer, à genoux, « l'erreur et l'hérésie du mouvement de la Terre », « doctrine qui est fausse et contraire aux sacrées et divines Écritures »; cette condamnation et cette abjuration, que Mgr MONCHAMP appelle, par un doux euphémisme : « les fâcheux incidents de 1633! », furent publiées dans toute la chrétienté par ordre du Saint-Père (1), et l'*Index* déclara damnables « tous les livres qui enseignent la mobilité de la Terre et l'immobilité du Soleil ». L'Église n'en dut pas moins battre en retraite, après deux cents ans de résistance aveugle, et l'édition de l'*Index* de 1835 omet enfin de réprouver les œuvres de COPERNIC et de GALILÉE.

Toutes les autorités orthodoxes décidèrent que, d'après la Bible, le commencement du monde et la

(1) Outre l'excellent exposé de WHITE et l'article de SAINT-GEORGE MIVART, *Some recent Catholic apologists* (*Fortnightly Review*, 1er janvier 1900, page 33), on peut consulter sur GALILÉE l'ouvrage de Mgr MONCHAMP, vicaire général du diocèse de Liége : *Galilée et la Belgique*, 1892. L'auteur se borne à plaider, assez faiblement, les circonstances atténuantes pour les cardinaux inquisiteurs du Saint-Office. Il dit entre autres (page 11) : « Nous n'aurons pas la mauvaise grâce de révoquer en doute la vérité du système de COPERNIC : elle nous paraît incontestable, et dès lors *nous reconnaissons que l'on a eu tort de proclamer le système faux, absurde, hérétique, etc...*

» Ce jugement des tribunaux pontificaux prouve-t-il que les enseignements romains sont faillibles ?

» *Il montre qu'ils ne sont pas tous infaillibles.*

» Et nous le reconnaissons volontiers... »

Déjà vingt ans auparavant, un prêtre catholique anglais, le Révérend ROBERTS, avait reconnu dans son livre (cité par WHITE) *The Pontifical Decrees against the Earth's Movement*, 1870 (2e édition, 1885), que la Papauté elle-même et son infaillibilité étaient pleinement engagées dans la condamnation du mouvement de la Terre; et il en tire cette conclusion que Dieu a permis au Pape et à l'Église de tomber dans cette grave erreur, afin de montrer, une fois pour toutes, que l'Église n'a pas le droit de décider des questions de science.

création de l'homme doivent être placés entre quatre mille et six mille ans avant l'ère chrétienne, — en l'an 5199 avant J.-C., selon le « Martyrologe » sanctionné par les papes GRÉGOIRE XIII et URBAIN VIII, en l'an 4004 selon d'autres. Saint Augustin insiste sur ce que la croyance aux antipodes et à une durée de la Terre supérieure à six mille ans, sont de mortelles hérésies. Aujourd'hui, pourtant, malgré une si formelle condamnation, les catholiques clairvoyants sentent bien qu'il faudra se résigner à l'antiquité de la Terre et de l'Homme : dans la *Revue thomiste*, dirigée par le R. P. COCONNIER, O. P., maître en sacrée théologie, J. D'ESTIENNE (C. DE KIRWAN) confesse que « la lente, la très lente élaboration » des assises sédimentaires implique « des myriades de siècles », et DE LAPPARENT, professeur de géologie à l'École libre des Hautes Études de Paris, accorde 80 à 90 millions d'années depuis l'apparition de la vie sur le globe (1). Il n'est pas jusqu'au *Catéchisme de Malines* qui n'esquisse déjà un mouvement de retraite. L'édition de 1889 porte encore (pages 35-36) :

« *Demande*. De quoi Dieu a-t-il fait le ciel et la terre?
Réponse. De rien.

D. Quand Dieu a-t-il créé le ciel et la terre?
R. Il y a environ six mille ans.

D. En combien de temps Dieu a-t-il créé le ciel et la terre?
R. En six jours »;

1 *Revue thomiste* (7e année, Paris, 1899, page 466). — DE LAPPARENT (*Traité de Géologie*, 4e édition, volume III, 1900, pages 1859-1860) estime entre 20 et 100 millions d'années le temps nécessaire au dépôt des terrains sédimentaires; et dans sa brochure *La destinée de la Terre ferme et la durée des temps géologiques* (publiée dans la collection : *Science et Religion*, 1899, pages 58-60) il arrive à une limite de huit ou neuf cent mille siècles, soit 80 à 90 millions d'années.

tandis que dans celle de 1901 (page 35) les deux premières de ces questions et leurs réponses ont disparu et à la dernière réponse on a ajouté prudemment :

« En six jours, dont nous ne connaissons pas la durée. »

Sur le terrain de la médecine, la même lutte s'est produite. Il a fallu longtemps pour triompher des préjugés théologiques, d'après lesquels la maladie est un fléau, c'est-à-dire une punition envoyée par Dieu, ou une intrusion de Satan, justiciable, dans les deux cas, d'un traitement surnaturel. Aujourd'hui encore, c'est un spectacle assurément instructif de voir le troupeau des fidèles venir demander la guérison à la piscine surnaturelle de Lourdes, tandis que leurs évêques et leurs prêtres s'en vont, en foule, se faire traiter à quelques lieues de là, par les eaux naturelles de Cauterets ou de Luchon...

Il fut difficile surtout de faire prévaloir la notion des maladies mentales contre la croyance à la possession démoniaque. Bossuet défendait encore cette dernière doctrine et le pape Léon XIII lui-même a fait publier en 1890 un volume d'*Exorcismes contre Satan*.

Faut-il rappeler enfin le grand Giordano Bruno, martyr de l'Inquisition, brûlé vif à Rome pour ses hérésies scientifiques et philosophiques; notre Van Helmont, condamné par l'Inquisition à cause de ses idées novatrices; van Velden, sur qui l'intolérance romaine s'exerça par l'intermédiaire de l'Université de Louvain et qui fut deux fois poursuivi pour une thèse copernicienne; Buffon, contraint par la faculté théologique de la Sorbonne à une rétractation humi-

liante — toutes victoires éphémères de la théologie qui n'eurent point de lendemain?

Actuellement, c'est dans le grand combat entre les créationnistes et les évolutionnistes que la foi traditionnelle est en train de subir une de ses déroutes coutumières. Lorsque, avec SPENCER, WALLACE et DARWIN, la théorie de l'évolution par la sélection naturelle reprit un nouvel et décisif essor, ce fut d'abord, dans tous les milieux théologiques, catholiques et protestants, une furieuse levée de boucliers.

L'évêque d'Oxford, WILBERFORCE, affirmait que « le principe de la sélection naturelle est absolument incompatible avec la parole de Dieu » et se félicitait de ne point descendre d'un singe; un autre théologien protestant proclamait que : « Si la théorie darwinienne est vraie, la Genèse est un mensonge, toute la charpente du Livre de Vie s'écroule et la révélation de Dieu à l'homme, telle que nous autres Chrétiens nous la connaissons, n'est qu'illusion et embûche. » Le cardinal MANNING ne se montrait pas moins hostile : dans un discours à l' « Academia » catholique, fondée tout exprès pour combattre ce mouvement scientifique, il appelait la nouvelle théorie « une philosophie brutale — à savoir : il n'y a pas de Dieu, et le singe est notre Adam ». Mgr DE SÉGUR renchérissait encore : « Ces infâmes doctrines, s'écriait-il en stigmatisant les idées de DARWIN et de ses adeptes, ont pour seul appui les plus abjectes passions. Leur père est l'orgueil, leur mère l'impureté, leur produit les révolutions. Elles viennent de l'Enfer et elles y retournent, entraînant avec elles les viles créatures qui ne rougissent pas de les proclamer et de les

accepter »; un jésuite français, le R. P. DE SCORRAILLE, rendant compte du Congrès scientifique international des catholiques d'avril 1888, traitait les théories transformistes de « fictions répugnantes »; les évêques espagnols prononçaient l'excommunication majeure contre le Dr CHIL pour son ouvrage sur les Iles Canaries, où il se risquait à mentionner quelques faits favorables à l'hypothèse de l'évolution; et le pape PIE IX, dans un bref du 17 mai 1877, adressé à un médecin catholique, l'apologiste de Lourdes, le Dr CONSTANTIN JAMES, pour le remercier de l'envoi de son ouvrage *L'Homme-Singe*, disait du darwinisme : « Un système que repoussent à la fois l'histoire, la tradition de tous les peuples, la science exacte, l'observation des faits et jusqu'à la raison elle-même, semblerait n'avoir besoin d'aucune réfutation, si l'éloignement de Dieu et le penchant au matérialisme, provenant de la corruption, ne cherchaient avidement un appui dans tout ce tissu de fables. Celles-ci, du reste, démenties de tous côtés par les arguments les plus simples, portent, de plus, en elles la marque évidente de leur propre insanité... Mais la corruption de ce siècle, les artifices des pervers, le danger des simples, exigent que de semblables rêveries, tout absurdes qu'elles sont, comme elles se servent du masque de la science, soient réfutées par la science vraie (1). »

(1) La citation de WILBERFORCE et les suivantes sont empruntées à A. D. WHITE (*Ouvrage cité*, I, pages 70 et suivantes), où l'on trouvera de plus amples détails à ce sujet. Le passage de Mgr DE SÉGUR se trouve dans sa brochure : *La Foi devant la Science moderne* ; j'ai été obligé de le retraduire sur le texte de WHITE, cette brochure ne se trouvant pas à la Bibliothèque royale. Le bref papal est imprimé dans CONSTANTIN JAMES : *L'hypnotisme expliqué. Mes entretiens avec S. M. l'Empereur don Pedro sur le Darwinisme* (Paris, 1888, page 84). — Sur le R. P. DE SCORRAILLE, voir la *Revue des Questions scientifiques* (1889, tome XXV, page 109).

En dépit de tant d'efforts de la milice sacrée, la bataille, aujourd'hui, est à peu près gagnée par la science et, déjà, les plus perspicaces parmi les vaincus voudraient faire croire qu'ils ont toujours été du côté du triomphe.

Le mouvement des intellectuels catholiques vers l'évolution, on en peut suivre curieusement les phases à la *Société scientifique de Bruxelles*, si rigoureuse en son orthodoxie (ce qui ne lui a pas épargné la mémorable mésaventure du P. Hahn, dont la dissertation sur Sainte Thérèse, couronnée par le plus catholique des jurys, fut ensuite mise à l'Index).

Dans les recueils de cette Société, on voit d'abord, vers 1876, avec quel dédain un abbé A. Lecomte ou le P. Bellynck traitent le darwinisme (1). Quelques années après, le P. Carbonelle le malmène encore, mais beaucoup moins durement (2). Puis, en 1881, Proost — professeur à l'Université de Louvain et, aujourd'hui, directeur général de l'agriculture — risque, avec beaucoup d'hésitation, un timide aveu, non pas encore à l'adresse du darwinisme, mais tout au moins du transformisme. Il cite « plusieurs faits qui militent fortement en faveur » de cette théorie et, dit-il, « ce qui est surtout remarquable, c'est que toutes les branches des sciences naturelles apportent des contributions à l'hypothèse transformiste ». Une telle déclaration, venant d'un homme si haut coté dans son parti (une fête récente en a fourni la preuve), était d'autant plus significative et méritoire qu'il s'était

(1) Abbé A. Lecomte, *De l'évolution de l'appareil à sonnettes du Crotale d'après Darwin* (*Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, 1re année, 1875-1876; seconde partie : *Mémoires*, page 106). — Le R. P. Bellynck, S. J., *La Botanique en 1876* (ibidem, page 398).

(2) *Revue des Questions scientifiques*, 1877-1881.

auparavant, dans la *Revue catholique* de Louvain, montré très hostile à la fois au darwinisme et au transformisme. En 1873 et 1874, il y avait publié en effet, sous ce titre caractéristique : « Un dogme matérialiste ou la doctrine de l'évolution », une série d'articles dans lesquels il parlait de la défaite des transformistes, il se prononçait pour l'immutabilité de l'espèce, etc. Maintenant, au contraire, il éprouve une tendresse naissante pour ce « dogme matérialiste ». Mais un grave souci l'obsède : il craint de verser dans l'hérésie et demande « si, au point de vue dogmatique, on peut admettre ce système, qui a pour lui de fortes présomptions ». L'année suivante, il est rassuré et, par une transposition fort commune, il reproche aux autres l'opinion qu'il a lui-même émise. « Une grande erreur, que les rationalistes militants s'efforcent de perpétuer, dit-il, c'est que les catholiques ne peuvent admettre le principe de la doctrine de Darwin sans verser dans l'hérésie et sans être taxés de matérialistes (1). »

Il est étonnant que Proost (2) se soit mis en frais de subtilités pour contester cette évolution évidente de ses idées vers le transformisme, dont nous nous gardons bien de lui faire un grief. Mais ce qu'il est permis de souligner, comme incompatible avec la libre recherche,

(1) A. Proost, *Un dogme matérialiste ou la Doctrine de l'évolution* (*Revue catholique de Louvain*, 1873 et 1874). — Idem, *La Philosophie naturelle en Angleterre* (*Revue générale*, 1879, tome XXIX, page 835, et tome XXX, page 131). — Idem (*Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, 5e année, 1880-1881, 1re partie, séance du 25 avril 1881, pages 105-107). — Idem, *Darwin et le Darwinisme* (*Revue générale*, 1882, tome XXXV, page 844).

(2) A. Proost, Lettre insérée dans le *Bien Public*, de Gand, du 10 décembre 1899 [Dans un article du *National* du 31 décembre 1906, sur « *Les Dogmes matérialistes* », A. Proost dit, pour disqualifier les critiques qui sont adressées à ses articles dans la présente leçon : « Feu Léo Errera, qui, sans doute, n'avait pas lu jusqu'au bout ces diverses études... » Pareil reproche semblera injustifié à tous ceux qui ont connu Léo Errera.]

c'est sa préoccupation de subordonner ses idées scientifiques aux exigences du dogme. Il faut croire, du reste, qu'il a paru nécessaire de tranquilliser ses amis au sujet de son orthodoxie, puisque deux journaux au moins ont appuyé à cette occasion sur cette profession de foi qui n'a rien à faire ici : que PROOST croit aux miracles de l'Église — et ils impriment le mot en grandes capitales (1).

De même que PROOST, et avant lui un savant anglais distingué, SAINT-GEORGE MIVART, qui se convertit au catholicisme à dix-sept ans, fut professeur à l'Université de Louvain et docteur en philosophie de Rome, prétendait concilier la foi catholique avec l'évolutionnisme, même quant à l'origine animale du corps du premier couple humain. Le R. P. LEROY, dominicain, « une importante autorité » au dire de la *Revue des Questions scientifiques*, prit énergiquement fait et cause pour cette théorie dans son livre (2). La même Revue insiste sur ce que « le volume est précédé d'une lettre du très savant et très catholique professeur de géologie aux Facultés libres de Paris, DE LAPPARENT » qui écrit : « Mon révérend père... L'ensemble de votre thèse répond tout à fait aux vues que m'a suggérées le maniement de ma collection paléontologique... Il y a des idées auxquelles il faut qu'on s'accoutume, parce qu'il semble que l'avenir leur appartienne. » Et, quatre mois plus tard, le T. R. P. MONSABRÉ, maître en sacrée théologie, encourageait la publication du P. LEROY, par sa lettre du 7 juin 1886 : « Mon révérend et cher père... On peut n'être pas de votre opinion, puisqu'il s'agit ici d'une simple opinion,

(1) Article : *Le Transformisme et les Catholiques*, dans le *Patriote*, 3 décembre 1899, et dans le *Bien Public*, 5 décembre 1899.

(2) *L'Évolution restreinte aux espèces organiques*, Paris, 1891.

mais je ne vois pas en quoi on pourrait accuser votre orthodoxie... » Enfin, le livre du P. LEROY a reçu l'approbation officielle de ses supérieurs : « Je n'y ai rien trouvé de contraire à la foi ni aux mœurs », déclare le Père BEAUDOIN, maître en sacrée théologie, et l'*Imprimatur* est signé par le P. FAUCILLON, le provincial sous l'obédience duquel le P. LEROY est placé (1).

Et voici, aujourd'hui, où nous en sommes arrivés. De toutes parts, les « intellectuels » du catholicisme se prononcent à l'envi en faveur des théories transformistes : ALB. GAUDRY, de l'Institut de France, publie ses *Enchaînements du monde animal* (1876-1883) et son *Essai de Paléontologie philosophique* (1896); notre illustre compatriote, feu P. J. Van Beneden, professeur à l'Université de Louvain, d'abord hostile au transformisme, s'y rallie ensuite; l'Abbé HY, professeur aux Facultés catholiques d'Angers, déclare qu'il « n'a rien d'inconciliable avec les plus saines notions philosophiques ou avec le dogme révélé »; l'Abbé J. GUIBERT, supérieur du Séminaire de l'Institut catholique de Paris, dans ses *Questions d'Apologétique*, admet l'évolution pour toutes les espèces végétales et animales, l'Homme excepté, et c'est là aussi l'opinion récemment soutenue, au point de vue de la philosophie scolastique, par un théologien catholique hollandais, H. TH. BEYSENS; SAINT-GEORGE MIVART et le P. LEROY étendent, on l'a vu, cette explication au corps de l'Homme lui-même, et le P. J. A. ZAHM, docteur en philosophie par nomination de S. S. LÉON XIII et professeur de physique à l'Université de Notre-Dame (Indiana,

(1) Voir J. D'ESTIENNE (C. DE KIRWAN), *Le Transformisme et la discussion libre* (*Revue des Questions scientifiques*, janvier-avril 1889, page 77).

États-Unis), en son ouvrage : *Evolution and Dogma,* qui a fait tant de bruit dans les milieux orthodoxes, se prononce énergiquement dans le même sens. Il va jusqu'à dire que, hormis l'âme de l'Homme, il n'y a rien, fût-ce la vie en elle-même, qui ne puisse avoir été et n'ait été développé par la matière, au moyen de ses propriétés et de ses forces. « Comme catholiques, remarque-t-il (1), nous sommes libres d'accepter cette théorie quant aux multiples formes d'animaux et de plantes... Elle nous donne une conception plus noble de la Divinité que l'opinion traditionnelle de la création spéciale... » Mais, dès lors, « l'analogie et la logique scientifiques exigent notre assentiment à la théorie de l'évolution quant à la forme corporelle de l'Homme » (2). Dans « ce substratum, le Créateur aurait insufflé l'haleine de vie » (3).

Pourquoi, ajoute le P. Zahm, s'imaginer que l'origine simienne dégrade l'Homme ? « Et pourquoi ne pas dire plutôt qu'une telle descendance anoblit le singe ? » (4). Saint François d'Assise appelait bien les oiseaux ses frères ! (5). « Laissons de côté le sentimentalisme : qu'importe au chrétien qu'il tire son origine directement ou indirectement de la poussière ? » (6). Et l'auteur n'hésite pas à conclure (7) que cette théorie « promet d'être bientôt une opinion généralement acceptée, opinion qui se recommande par elle-même non seulement à la philosophie chrétienne, mais encore à l'apologétique catholique ».

(1) Traduction italienne, page 284.
(2) *Loc. cit.*, page 286.
(3) *Loc. cit.*, page 288.
(4) *Loc. cit.*, page 345.
(5) *Loc. cit.*, pages 345-346.
(6) *Loc. cit.*, page 345.
(7) *Loc. cit.*, page 341.

Les plus graves autorités ecclésiastiques, comme l'avoue la *Revue des Questions scientifiques* de Bruxelles, ont reconnu que la thèse évolutionniste, même étendue au corps de l'Homme, peut s'accorder avec les exigences de la foi. Tel est, entre autres, l'avis du cardinal GONZALÈS, du chanoine DUILHÉ DE SAINT-PROJET, de Mgr D'HULST, du R. P. DIERCKX, S. J.

Les idées du P. ZAHM, en particulier, ont été l'objet de marques de sympathie de la part de l'évêque de Crémone et de celui de Newport. Nous pouvons, dit ce dernier, « accueillir ses efforts avec grande satisfaction et espérance » (1). [Le célèbre écrivain italien ANTONIO FOGAZZARO, évolutionniste passionné, mais catholique fervent, va plus loin encore : il admet, sous certaines réserves, que l'âme comme le corps de l'Homme s'est formée par évolution (2).]

S'il m'est permis de citer un souvenir personnel, lorsque je publiai, il y a quelques années, cette Leçon élémentaire sur le Darwinisme, je fus violemment et parfois grossièrement attaqué par les journaux catholiques, tandis que des Revues catholiques, plus calmes,

(1) Sur P. J. VAN BENEDEN, voir la lettre de PROOST, citée à la note 2, page 175. — Abbé HY, cité dans GUIBERT (*Les Origines*, chapitre III). — Abbé J. GUIBERT, de Saint-Sulpice, *Les Origines. Questions d'Apologétique*, 2e édition, Paris, 1898 — H. TH. BEYSENS, *De Ontwikkelingsgeschiedenis der organische Soorten van het standpunt der scholastieke Wijsbegeerte*, Warmond, 1902. — Révérend J. A. ZAHM, *Evolution and Dogma*, Baltimore, 1897; traduction italienne autorisée par l'auteur : *Evoluzione e Dogma*, Sienne, 1896. — *Revue des Questions scientifiques*, Bruxelles, 20 janvier 1900, page 302 (Analyse du livre : *Les Origines*, de l'Abbé GUIBERT) où sont cités : Cardinal GONZALÈS, *La Biblia y la Ciencia*, tome I, page 542; — Chanoine DUILHÉ DE SAINT-PROJET, *Apologie scientifique*, page 372, note; — Mgr D'HULST, *Comptes rendus du Congrès catholique de Paris*, 1891, section d'Anthropologie, page 213; — R. P DIERCKX, S. J., *Revue des Questions scientifiques*, juillet 1894 — Pour l'évêque de Crémone, voir *Civiltà cattolica*, série XVII, volume V, cahier 1161, 5 novembre 1898, page 362. — J. CUTHBERT HEDLEY, évêque (catholique) de Newport, *Physical science and faith* (*The Dublin Review*, octobre 1898, page 259).

[(2) Voir FOGAZZARO, *Ascensioni umane*, pages 159-169.]

plus réfléchies, telles que la *Revue générale*, traitaient mon exposé avec une visible sympathie, signalant même « la facile conciliation de la donnée scientifique du darwinisme avec le dogme chrétien » (1). J'ai reçu, à cette occasion, une lettre d'un jésuite très distingué qui n'a pas hésité à m'écrire : « Cette doctrine scientifique, que j'admets pour ma part, n'a jamais gêné mes convictions religieuses », et, quelques jours plus tard, il précisait : « J'ai le plaisir d'être tout à fait d'accord avec vous sur le fond... »

Mieux que cela : le revirement est si complet parmi les catholiques éclairés que des esprits attardés dénoncent, avec douleur, l'évolution comme devenue l'enseignement officiel des académies catholiques (2) ! Et, suivant un procédé bien conforme aux méthodes théologiques, on commence déjà, dans certains milieux bien pensants, à faire preuve d'intolérance à l'égard de ceux qui restent partisans de la fixité des espèces.

Un jeune étudiant de Louvain l'a appris dernièrement à ses dépens. Il a fait à Namur, à l'Extension universitaire catholique, des conférences anti-darwinistes et, comme l'a annoncé l'*Opinion libérale* (3) — qui n'a pas été démentie et ne le sera pas — il a été réprimandé, de ce chef, par ses professeurs de sciences naturelles, dont l'enseignement est tout imprégné de tendances darwiniennes.

Quelle est l'attitude des autorités ecclésiastiques suprêmes en face de cette fermentation d'idées par

(1) *Revue générale*, janvier 1900.

(2) F. Lefort, *Fausseté de l'idée évolutionniste appliquée au système planétaire ou aux espèces organiques*, Lyon, 1899.

(3) *L'Opinion libérale* de Namur, numéro du 18 janvier 1903.

laquelle l'élite catholique est remuée si profondément? D'une manière officielle, l'Église est demeurée intransigeante. « Je puis démontrer par les Conciles, m'écrivait une personne hautement compétente, qu'il est impossible à un catholique d'admettre la théorie de l'évolution et de rester, en même temps, catholique. » De même, la *Civiltà cattolica*, l'organe du Gesù, dont les attaches avec le Vatican sont connues, déclare : « Jusqu'ici, dans l'Église et en dehors d'elle, on avait généralement cru, non seulement que Dieu tout-puissant est le créateur du ciel et de la terre, mais encore qu'il a directement créé toutes les choses organiques et inorganiques, et qu'il est, tout spécialement, le créateur de l'âme de l'Homme et le formateur immédiat de son corps. » Aussi, « il nous semble que celui-là mériterait à juste titre d'être taxé de témérité qui, contre la sentence traditionnelle des Pères de l'Église, s'obstinerait à vouloir défendre la théorie que le corps humain dérive du singe ou d'un autre animal quelconque... » (1).

La crise est donc très aiguë. Non seulement les idées hardies de Fogazzaro ont été sévèrement jugées par la *Civiltà cattolica* (2) et ont valu à l'auteur les épithètes d'« ignorant » et de « téméraire », mais même la conciliation tentée entre le darwinisme (restreint au corps de l'Homme) et le dogme catholique a été nettement repoussée par Rome : Saint-George Mivart, inutilement invité à se rétracter et à reconnaître l'Écriture comme véridique et dictée tout entière par le Saint-Esprit, est mort, en 1900, excommunié par son ami, le

(1) Article : *Evoluzione e Domma* (*Civiltà cattolica*, série XVII, volume V, cahier 1165, pages 36 et 46).

[(2) Voir Fogazzaro, *Ascensioni umane*, pages 185 et suivantes.]

cardinal VAUGHAN ; le P. LEROY, moins sincère ou moins courageux, a courbé la tête, malgré l'adhésion de DE LAPPARENT, du T. R. P. MONSABRÉ, du P. BEAUDOIN et l'*Imprimatur* ecclésiastique officiel ; et le P. ZAHM, ayant appris que le Saint-Siège est hostile à son livre, a fait tout aussi bon marché de ses convictions scientifiques et use de toute son influence pour le retirer de la circulation.

Nous possédons le texte de la rétractation signée à Rome, le 26 février 1895, par le « bon Père LEROY », comme l'appelle la *Civiltà cattolica* — depuis sa reculade. Le pieux recueil ajoute que cette déclaration « qui fait grand honneur au P. LEROY, peut servir d'enseignement à beaucoup (de catholiques) qui se laissent facilement entraîner par des nouveautés périlleuses ». Nous y lisons :

« J'apprends aujourd'hui que ma thèse (1), examinée ici, à Rome, par l'autorité compétente, a été jugée insoutenable surtout en ce qui concerne le corps de l'Homme, incompatible qu'elle est, tant avec les textes de la Sainte Écriture, qu'avec les principes d'une saine philosophie. Enfant docile de l'Église, résolu avant tout à vivre et à mourir dans la foi de la sainte Église romaine, obéissant du reste en cela à des ordres supérieurs, je déclare désavouer, rétracter et réprouver tout ce que j'ai dit, écrit et publié en faveur de cette théorie. »

N'oublions pas de rappeler, à cette occasion, les fières paroles du P. DE SMEDT, bollandiste : « Sans doute, nous nous glorifions de notre titre de catholiques, bien plus que de celui de savants ; mais nous

(1) *L'Évolution restreinte aux espèces organiques*, Paris, 1891.

tenons aussi à ce dernier, et nous prétendons bien n'avoir jamais à sacrifier la moindre parcelle de l'une de ces qualités pour conserver l'intégrité de l'autre ! » (1)

Combien plus vrai est cet aveu déchirant, arraché à SAINT-GEORGE MIVART, mourant et désabusé : « Il est donc évident aujourd'hui qu'entre le dogme catholique et la science un vaste et infranchissable abîme est ouvert, et aucun homme de connaissances ordinaires ne peut désormais entrer dans l'Église catholique romaine, s'il comprend bien quels en sont les principes et l'enseignement, à moins que ceux-ci ne viennent à changer de façon radicale ! » Et l'évêque de Newport n'avait-il pas reconnu de son côté que les catholiques sont embarrassés dans la poursuite de la science par les exigences du dogme ? (2)

On a vu que cet évêque a témoigné la plus grande sympathie aux idées du P. ZAHM, aujourd'hui condamnées : il a, pour autant que je sache,

(1) Au sujet de SAINT-GEORGE MIVART, je m'appuie sur des sources privées. — La rétractation du P. LEROY est imprimée dans la *Civiltà cattolica*, du 7 janvier 1899, cahier 1165, page 49. — Le P. ZAHM a écrit, le 16 mai 1899, à son traducteur italien : « I have learned from unquestionable authority that the Holy See is adverse to the further distribution of « Evolution and Dogma » and I, therefore, beg of you to use all your influence to have the work withdrawn from sale... » (Lettre publiée par la *Gazzetta di Malta*, 31 mai 1899, et reproduite dans la *Civiltà cattolica* du 1er juillet 1899, cahier 1177, page 125). — CH. DE SMEDT, *L'Église et la Science* (*Revue des Questions scientifiques*, Bruxelles, I, 1877, page 180).

(2) Extrait d'une lettre de SAINT-GEORGE MIVART au cardinal VAUGHAN, publié dans la *Flandre libérale* du 16 avril 1900. — HEDLEY, évêque de Newport, *Physical Science and Faith* (*The Dublin Review*, octobre 1898, pages 258-259). — Voici ce passage qu'il est bon de retenir : Au P. ZAHM qui croyait naïvement dans son livre (*Bible, Science and Faith*, 1895, page 40), à la liberté scientifique des catholiques, l'Évêque répond : « It is certainly not literally true that « Catholics... will not admit that they are in any way hampered in the pursuit of science by the exigencies of dogma. »

tenu bon jusqu'ici. Mais Mgr de Crémone a faibli et a prudemment retiré sa timide adhésion, sur le conseil d'amis « très compétents par leur science et leur autorité ».

Et la crise gagne, d'échelons en échelons, les plus hauts degrés de la hiérarchie. Aux vues larges du cardinal Gonzalès s'oppose le verdict tranchant du cardinal Satolli : « L'hypothèse de l'évolutionnisme est dépourvue, dit celui-ci, de tout appui de la part des faits, elle est en désaccord de tous côtés avec les principes de la métaphysique et des sciences naturelles. »

Enfin, de même que Pie IX avait formellement rejeté le darwinisme, dans son bref de 1877 que nous avons déjà cité, ainsi S. S. Léon XIII, dans son *Chant séculaire*, daté du 31 décembre 1900, a pris la peine de fulminer — et en vers encore! — contre les « insensés » qui veulent rapprocher l'Homme de la bête ! (1)

E pur si muove! Et pourtant les idées marchent. On peut prédire que l'Église finira par céder, comme elle a dû accepter la *Physique* d'Aristote, la rotondité de la Terre, son mouvement, son antiquité, la dissection des cadavres ou la notion des maladies mentales.

Bien que Pie IX, dans sa *Lettre apostolique* du 21 décembre 1863, ait insisté sur « la nécessité d'éviter soigneusement les nouveautés profanes et de ne pas se

(1) Pour la reculade de l'évêque de Crémone, voir *Civiltà cattolica*, 5 novembre 1898, cahier 1161, page 362. — Cardinal Satolli, *De Habitibus*, Rome, 1897, page 237. — Léon XIII dit dans son *Chant séculaire* du 31 décembre 1900 : « L'origine céleste de notre espèce, ces insensés la dédaignent : attachant leur esprit à des ombres vaines, ils assimilent les races incompatibles des hommes et des bêtes. » (Le texte latin est reproduit dans la *Revue de l'Université de Bruxelles*, mars 1901, page 459.)

laisser séduire par ceux qui vantent sans cesse la fausse liberté de la science » (*falsam scientiae libertatem*), bien que le Concile œcuménique du Vatican, de 1870, ait lancé l'anathème contre quiconque « dit qu'il peut se faire qu'on doive quelquefois, selon le progrès de la science, attribuer aux dogmes proposés par l'Église un autre sens que celui qu'a entendu et qu'entend l'Église », bien que la Congrégation de l'Index et Léon XIII lui-même aient continué encore la bataille, celle-ci est désormais perdue. L'évolution triomphera, même dans l'Église, et en dépit de la doctrine de l'inspiration verbale des Écritures. L'américanisme, c'est-à-dire l'esprit d'émancipation et de liberté intellectuelle dont le P. Hecker fut l'apôtre aux États-Unis et que Rome a condamné, se propage dans l'Église. Et, au lendemain de son *Chant séculaire*, Léon XIII, par sa *Lettre apostolique* du 30 octobre 1902, instituait pour le progrès des études bibliques une « Commission d'hommes graves » de tous les pays, afin « d'imposer une mesure convenable et digne aux principales controverses entre les docteurs catholiques » et « afin que les textes divins trouvent aussi parmi les nôtres l'interprétation plus étudiée réclamée par notre temps » (1).

(1) La lettre apostolique de Pie IX, du 21 décembre 1863, à l'Archevêque de Munich et Frisingue, se trouve dans : *Les Actes pontificaux cités dans l'Encyclique et le Syllabus*, Paris, 1865, pages 456-457. — L'anathème rappelé fait partie des « Canons » du Concile du Vatican, dans : *Décrets et Canons du Concile œcuménique et général du Vatican* (1869-1870. Nouvelle édition, Bruxelles et Paris, 1873, page 157). — Le texte de la *Lettre apostolique* du 30 octobre 1902, du pape Léon XIII, est publié dans : *Analecta ecclesiastica*, novembre 1902, page 433. — [Sur la commission romaine biblique, voir West, article de la *Contemporary Review*, avril 1902, traduit dans la *Bibliothèque de Propagande*, Bruxelles (nº XXXVIII).]

Sur l'Américanisme et les questions connexes, on peut lire un intéressant article anonyme : *La grande crise de l'Église en France*, dans la *Revue* (ancienne *Revue des Revues*) du 1er janvier 1903

Et, d'ici quelques années, attendons-nous à voir l'Église découvrir un détour habile pour masquer sa défaite. Elle abandonnera, sous quelques réserves divinement ambiguës, l'interprétation trop verbale des Écritures et elle déclarera, avec l'abbé GUIBERT, qu' « il faut préférer des conclusions scientifiques certaines à une exégèse douteuse ». Puis, les hommes graves établiront gravement que non seulement les théologiens n'ont jamais été opposés au transformisme, mais même que les idées de DARWIN étaient déjà toutes contenues dans SAINT AUGUSTIN et dans SAINT THOMAS !

Ainsi finira l'un des actes du drame le plus grandiose qui soit : la lutte entre les puissances d'asservissement et la recherche libératrice.

I

En présence des adaptations merveilleuses dont la nature nous offre tant d'exemples, nous ne pouvons proposer jusqu'ici qu'une seule interprétation acceptable et scientifique : celle que fournit la théorie de la sélection naturelle, dont Darwin a enrichi la pensée humaine.

C'est là proprement la portée du darwinisme qui, lui-même, se rattache à une notion plus ancienne et plus générale : celle de la descendance des espèces, appelée encore transformisme ou évolution.

Il importe de dire d'abord quelques mots de celle-ci.

*
* *

Dans le monde vivant, nous ne voyons que des individus : nous observons non pas le Cheval, non pas l'Ane, l'Homme ou le Chêne, — mais toujours un Cheval, un Ane, un Homme, un Chêne. Il faut un effort de généralisation pour nous dégager de l'impression que les individus ont faite d'abord sur nous.

C'est en constatant la communauté d'origine, la similitude de développement, l'homologie de structure, que nous passons de la notion d'individu à celle d'espèce. Seulement, ce n'est guère que dans nos ménageries et dans nos jardins que nous pouvons contrôler la communauté d'origine et établir une filiation certaine : en dehors de là, nous devons presque toujours nous contenter de la concordance de tous les caractères importants. En parlant de l'espèce Cheval, par exemple, nous envisageons donc certains traits

de ressemblance et nous laissons de côté les détails que nous considérons comme secondaires. C'est une abstraction que nous faisons là.

Nous pouvons aller plus loin dans cette même voie : nous pouvons comparer au Cheval l'Ane, le Zèbre, qui reproduisent tous ses traits essentiels; nous pouvons aussi trouver des points de ressemblance très saillants entre le Cheval et le Bœuf, et le Chien, et l'Homme lui-même. Ce n'est pas tout encore. Lorsque nous faisons ainsi progressivement abstraction d'un nombre plus grand de particularités accessoires, nous voyons se dessiner des analogies entre des êtres bien plus éloignés les uns des autres, et nous découvrons des rapports entre cet ensemble d'animaux qu'on vient de citer et qui sont tous des Mammifères, et les Oiseaux, et les Poissons et, plus loin encore, les Insectes ou les Vers.

Enfin, nous savons bien que par une foule de caractères fondamentaux, les plantes elles-mêmes se rapprochent du règne animal. La structure cellulaire est, au fond, identique : les plantes respirent, elles ont besoin de se nourrir, leurs aliments sont les mêmes que pour les animaux, elles croissent, elles se développent, elles ont une perception obscure des changements extérieurs.

Un horizon plus vaste s'ouvre ainsi devant nous. Par delà les limites de chaque règne, une notion générale apparaît, qui embrasse les animaux et les plantes : c'est celle de l'être vivant, celle de la vie.

*
* *

Les individus, les espèces, la vie, telles sont, en effet, les trois grandes étapes de la généralisation à laquelle nous pouvons nous élever peu à peu.

Mais, lorsque nous en sommes arrivés à ce point, de nouveaux problèmes ne tardent pas à surgir devant nous. Nous nous demandons quelle est l'origine de ces individus, comment se sont formées ces espèces, d'où vient la vie.

De ces trois questions, la première et la dernière n'ont pas à nous occuper ici.

Sur l'origine des individus, bornons-nous à rappeler que l'on avait jadis les idées les plus étranges : les flancs d'un Taureau mort pouvaient engendrer des Abeilles, l'odeur d'une chemise sale pouvait transformer des grains de Blé en Souris. A présent, nous savons que les jeunes dérivent de parents, c'est-à-dire d'autres êtres de la même espèce : le Poussin sort de l'œuf qui a été pondu par une Poule, le Louveteau est mis au monde par une Louve, le Chêne provient d'un gland qu'un autre Chêne a porté. Il y a, en un mot, toujours filiation des individus.

Mais le premier Chêne ?

Mais la première Louve ?

Nous touchons ainsi au second problème, à celui de l'origine des espèces. Nous allons montrer que tout un faisceau de preuves nous conduisent à admettre pour les espèces la même conclusion que pour les individus.

Quant à l'origine de la vie, là encore il est probable qu'une filiation pareille se retrouve : la « génération spontanée » n'est pas autre chose que l'enchainement de la vie aux phénomènes physico-chimiques plus simples de la nature inorganique.

*
* *

Concentrons donc notre attention sur l'origine des espèces.

Quelle est l'origine des espèces que nous voyons à la surface du globe ? Ont-elles toujours existé, ou bien ont-elles été précédées par d'autres espèces qui ont aujourd'hui disparu ?

C'est là une question d'histoire. Elle doit se résoudre en consultant les archives du globe, — c'est-à-dire les couches sédimentaires étudiées par la géologie et la paléontologie.

La réponse n'est pas douteuse : les espèces actuelles n'ont pas toujours existé, la plupart d'entre elles ne se trouvent pas dans les terrains anciens, mais en revanche on y constate des restes d'animaux et de végétaux éteints qui n'ont qu'une lointaine analogie avec les espèces florissant aujourd'hui.

Devant ce fait, deux opinions sont seules possibles. Ou bien il y aurait eu des créations successives : à de certains moments, se serait produite une razzia gigantesque des formes qui peuplaient le globe, un cataclysme les aurait englouties, et alors, sur la terre dénudée, des espèces nouvelles auraient surgi tout à coup du néant, par le miracle d'une Volonté créatrice.

Ou bien, au contraire, les espèces que nous voyons à l'époque actuelle se rattacheraient par filiation aux espèces disparues : de même que les fils descendent des pères, de même les générations présentes descendraient des générations qui les ont précédées. C'est là ce qu'on nomme le transformisme.

Il nous faut choisir entre ces deux théories. Quand je dis : deux théories, je me trompe. En réalité, il n'y en a qu'une. Une théorie doit être une explication, et ce n'en est pas une que de recourir au miracle. Supposer que, brusquement, à un endroit du globe où

rien de vivant n'existait auparavant, un Éléphant ou une Baleine ait pris naissance, c'est évidemment faire un saut dans les ténèbres, c'est renoncer à comprendre.

En revanche, si l'évolution nous fait admettre que l'Éléphant descend par filiation de quelque autre forme antérieure qui lui ressemblait plus ou moins, du Mammouth ou du Mastodonte par exemple, il est clair qu'il y a là une notion compréhensible, que nous pouvons discuter scientifiquement. L'explication peut être vraie ou fausse, mais au moins c'est une explication.

Une telle transformation, un tel passage d'une espèce à une autre est-il possible? Ne sommes-nous pas habitués à voir les enfants ressembler à leurs parents, à voir les Chênes ne produire que des Chênes? Peut-on admettre que, dans la longue série des temps, une forme telle que le Mammouth ou le Mastodonte ait pu se modifier jusqu'à donner naissance, peu à peu, à une forme assez différente, l'Éléphant ?

II

L'observation quotidienne nous enseigne que s'il est parfaitement vrai que les enfants ressemblent à leurs parents, que le jeune Chêne ressemble au Chêne dont il dérive, que les Chiens d'une portée soient très pareils à leurs ascendants, cette ressemblance n'est pas absolue et n'est nullement incompatible avec de légères différences dans les détails. Même dans la famille la plus nombreuse, on n'a presque jamais de peine à distinguer entre eux les différents enfants.

Cette possibilité de différences, faibles à la vérité, entre les êtres qui se succèdent par filiation, constitue ce qu'on appelle la variabilité.

Est-ce là une tendance qui s'épuise ou qui demeure intacte dans les générations successives? Vous sentez tout de suite l'importance de cette question. Si, en effet, il y avait des cadres nettement tracés, des étaux à l'intérieur desquels les formes organiques fussent comme enserrées, on constaterait bien que des variations se produisent en dedans de certaines limites, mais on verrait évidemment la tendance à la variation diminuer de plus en plus à mesure que l'on approcherait de ces limites, absolument comme un mouvement se ralentit avant de cesser tout à fait.

Or, rien, en général, ne nous montre des limites de cette sorte, du moins pour certaines variations. Les variations se font, la plupart, par étapes extrêmement petites, et les différences qui se manifestent n'excluent pas une ressemblance profonde entre les êtres successifs; mais, d'ordinaire, les individus, même les plus différents du type originel, ne sont pas au bout de la faculté de s'en écarter encore. La variabilité ne s'épuise pas et, pour tout dire en un mot : toute variété est encore variable.

C'est ainsi que l'un des horticulteurs les plus habiles et les plus compétents en ces matières, Henri de Vilmorin, déclarait, malgré tout ce qui a déjà été obtenu en agriculture et en horticulture, que nous ne sommes pas du tout près du terme des perfectionnements possibles de nos légumes et de nos fleurs.

De même, les plantes grasses, si déviées du type ordinaire, sont encore susceptibles d'extravagances nouvelles, telles que les formes en crête et autres singularités (par exemple : *Echinopsis multiplex* ; *cristata*, etc.).

*
* *

Il peut arriver, cependant, que la variabilité devienne insuffisante chez certains organismes pour les mettre en harmonie avec les conditions changeantes du milieu.

Daniele Rosa a cherché récemment à établir que c'est même là une des causes principales de l'extinction des espèces : les formes les plus élevées et les plus spécialisées ne seraient plus assez souples, et disparaîtraient, tandis que des groupes nouveaux dériveraient de formes plus indifférentes et moins parfaites (1).

On s'est demandé si parmi les variations, il s'en produit aussi qui ramènent un type exactement en arrière. L'un des agrégés de l'Université de Bruxelles, L. Dollo, à la suite de ses intéressantes études de paléontologie a, le premier, soutenu nettement la négative, en déclarant que « l'évolution est irréversible ». Demoor, Massart et Vandervelde sont du même avis, quoiqu'ils admettent des exceptions « apparentes ou réelles ».

A notre sens, il faut se garder ici d'une conclusion intransigeante.

Certes, la réversion, c'est-à-dire l'exacte succession à rebours des mêmes étapes de variation qui furent parcourues dans l'autre sens est chose improbable. Dollo, dans une de ses leçons publiques, déclarait qu'il est

(1) D. Rosa, *La riduzione progressiva della variabilità e i suoi rapporti coll' estinzione e coll' origine delle specie*, Turin, 1899; — traduction allemande, Iéna, 1903.

aussi invraisemblable d'obtenir une telle succession que de jeter en l'air toutes les lettres d'un poème et de les voir retomber, par hasard, rigoureusement dans leur ordre.

Mais l'improbabilité ne signifie pas l'impossibilité. Comme mon collègue, le professeur ANSPACH, le disait un jour justement, le calcul des probabilités nous enseigne qu'il est probable que les événements improbables se réalisent de loin en loin (1).

Tout en concédant que beaucoup d'exemples considérés d'habitude comme de l'atavisme, ne sont pas probants, il en reste suffisamment pour établir que la prétendue irréversibilité ne doit point être admise sans restrictions.

Chaque fois que nous voyons des organes qui avaient été acquis dans le cours de l'évolution, se perdre de nouveau par la suite, c'est, en somme, un état antérieur qui reparait devant nous. Quelles que soient les différences entre l'espèce actuelle et ses lointains ancêtres, il y a, au point de vue des organes reperdus, un véritable retour au passé, une réversion. Tel est le cas pour la suppression des pétales chez un assez grand nombre d'Angiospermes : cette apétalie secondaire ou « apopétalie » — dont les Caryophyllacées, les Rosacées, les Thyméléacées, les Eléagnacées, les Halorrhagidacées offrent bien des exemples — renouvelle la situation réalisée par l'apétalie primitive des Angiospermes inférieures.

La réversion est plus frappante encore, sinon plus significative, lorsque nous voyons surgir inopinément

[(1) Cette pensée se rencontre déjà dans ARISTOTE qui s'exprime ainsi dans sa *Poétique* : « Ceci, aussi, est probable, conformément à cette sentence d'AGATHON : Cela fait partie des probabilités que beaucoup de choses improbables arrivent. »]

des organes ancestraux qui semblaient à jamais supprimés.

Des deux verticilles de trois étamines chacun qui existent typiquement dans l'ordre des Liliiflorales, l'interne manque à toute la famille des Iridacées. Or, en accentuant peu à peu, par une sélection méthodique,

FIGURE 1. — Fleur d'*Iris pallida* Lam. var. *abavia* HEINRICHER. On y voit les six pièces du périanthe barbues, et les trois étamines internes, alternant avec les lames pétaloïdes des stigmates, qui cachent les trois étamines normales.
(D'après une photographie du professeur HEINRICHER.)

des anomalies accidentelles, le botaniste distingué qui dirige le Jardin botanique d'Innsbruck, E. HEINRICHER, a pu obtenir une forme d'*Iris pallida*, qu'il a appelée « l'ancestrale » (*abavia*), et chez laquelle les six pièces du périanthe, redevenues semblables, portent les mêmes barbes (qui existent d'habitude sur les trois pièces extérieures seulement) et où les trois étamines internes sont parfaitement développées (figure 1).

Chez le *Pentastemon*, cette intéressante Scrophulariacée chez laquelle la cinquième étamine n'a pas

complètement disparu mais est remplacée par un organe stérile, un « staminode » (figure 2), j'ai constaté que le staminode peut reprendre tous les caractères d'une étamine normale et fertile.

Mieux que cela : les cinq étamines, dans ces fleurs, redeviennent égales et équidistantes, la corolle est parfaitement régulière. Bref, « ces fleurs ne sont plus didynames, elles ne sont plus anisostémones, elles ne

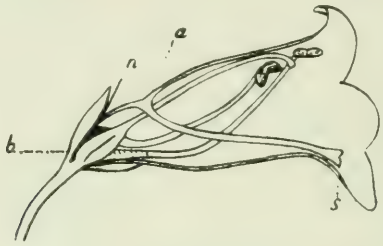


FIGURE 2. — Fleur de *Pentastemon* coupée suivant sa longueur (grandeur naturelle) : *a*, point d'incurvation du staminode; *s*, son extrémité libre.

sont plus bilabiées » ; comme je le notais déjà il y a vingt-cinq ans, leur retour à l'état de Solanacée est pour ainsi dire complet.

De même, dans ces dernières années, le professeur MASSART a bien voulu me signaler de beaux exemples de réapparition de la cinquième étamine, normalement absente, chez le *Sinningia* (*Gloxinia*), qui appartient à une famille assez voisine des Scrophulariacées, celle des Gesnéracées.

Comme l'androcée, le gynécée se montre parfois au complet dans des fleurs dont les ascendants le présentaient réduit, depuis un temps immémorial. Feu le Directeur du Jardin botanique de Bruxelles, le très regretté FRANÇOIS CRÉPIN, ainsi que d'autres,

en ont signalé des exemples parmi les Scrophulariacées (1).

Je ne vois vraiment pas comment un partisan de l'évolution se refuserait à appeler ces phénomènes : des réversions. Ils suffisent, à mon sens, à réfuter la théorie de l'irréversibilité.

Et nous fermons cette parenthèse.

*
* *

C'est surtout à Hugo de Vries, professeur à l'Université d'Amsterdam, que nous devons une longue série d'expériences sur la variabilité et sur la formation de nouvelles espèces, expériences commencées il y a une quinzaine d'années, conçues d'emblée avec clarté, poursuivies avec patience, discutées avec une pénétration remarquable. Grâce à lui, ces questions sont définitivement entrées dans la phase, non plus seulement de l'observation et du raisonnement, mais de l'expérimentation méthodique.

J'en parle d'autant plus volontiers que j'ai pu, à plusieurs reprises, visiter le jardin d'expériences d'Amsterdam, sous la conduite de de Vries et que celui-ci a tout dernièrement publié l'ensemble de ses résultats. J'ajoute à l'honneur de ce savant hollandais

(1) L. Dollo, *Les lois de l'Évolution* (*Bulletin de la Société belge de Géologie*, VII, 1893, page 165) : « L. Dollo est d'avis... qu'un organisme ne peut retourner, même partiellement, à un état antérieur, déjà réalisé dans la série de ses ancêtres. » — Demoor, Massart et Vandervelde, *L'Évolution régressive* (*Bibliothèque scientifique internationale*, Paris, 1897, pages 211-240). — E. Heinricher, *Versuche über die Vererbung von Rückschlagserscheinungen bei Pflanzen* (*Pringsheim's Jahrbücher*, XXIV, 1892).— Idem, *Iris pallida abavia* (*Biologisches Centralblatt*, 1896, pages 13-24).— L. Errera, *Pentstemon gentianoides et Pentstemon Hartwegi* (*Bulletin de la Société royale de Botanique de Belgique*, XVII, 1878, pages 222-224), [ou *Botanique générale*, volume I du présent Recueil, pages 211-214.] — F. Crépin (*Bulletin de la Société royale de Botanique de Belgique*, tome IV, pages 277-278).

éminent qu'il a su se garder de la maladie à la mode qu'est le particularisme linguistique et qu'il a écrit son livre : *Die Mutationstheorie*, non en néerlandais, mais en allemand (1). C'est un livre qu'il faut recommander à la lecture attentive et, mieux encore, aux méditations de tout naturaliste.

Quelques-uns ont cherché à opposer l'édifice élevé par DE VRIES à celui de DARWIN. C'est là méconnaître singulièrement l'histoire des idées scientifiques. Loin d'être inconciliable avec celle de DARWIN, la conception de DE VRIES la complète au contraire admirablement en la précisant. DE VRIES lui-même est le premier à rendre justice, en toute occasion, à son illustre prédécesseur.

Appuyés sur les observations de DE VRIES et de divers autres naturalistes, nous pouvons tenter aujourd'hui un premier classement des variations dont les êtres vivants sont susceptibles. J'en aperçois, pour ma part, quatre catégories principales :

1° Les variations dues au croisement, auxquelles on pourrait réserver le nom d'altérations (2).

Lorsque l'on féconde l'une par l'autre deux formes distinctes, on comprend que la descendance puisse participer à des degrés divers de la nature des deux parents et disjoindre ou réunir, en des combinaisons changeantes, les caractères propres à chacun d'eux. Cette remarque demeure applicable quelle que soit la parenté entre les deux conjoints, qu'il s'agisse donc de

1 HUGO DE VRIES, *Die Mutationstheorie*, Leipzig, volume I, 1901 ; volume II, 1903.

(2) Le terme de *vicinovariations* a été proposé par DE VRIES (*Mutationstheorie*, II, pages 376 et 383) pour rappeler que ces variations sont produites sous l'influence du pollen venant d'un pied voisin : il ne me semble pas des plus heureux et c'est ce qui m'engage à employer celui d' « altérations » ou « adultérations », qui exprime au fond la même idée.

simples variétés, d'espèces élémentaires, d'espèces plus éloignées ou même de genres différents.

En général, les produits hybrides ainsi obtenus offrent une étonnante diversité : ils semblent présenter, suivant l'expression de NAUDIN, de la variation désordonnée.

Ce désordre est, cependant, plus apparent que réel et, grâce aux expériences et aux déductions de MENDEL, qui datent de 1865, mais dont on n'a apprécié que depuis peu d'années l'importance capitale, grâce surtout aux admirables travaux de DE VRIES, nous commençons à voir que les hybrides se plient à certaines règles.

Les voici, telles que DE VRIES les formulait il y a quelques semaines seulement :

« *a)* Les croisements entre des formes dont la différence est de la nature de celle des espèces élémentaires ou progressive, donnent des hybrides constants ;

» *b)* Les croisements entre des formes dont la différence est de la nature des variétés proprement dites, rétrogressive ou dégressive, donnent des hybrides dont la progéniture se disjoint suivant les lois découvertes par MENDEL pour les Pois ;

» *c)* Quand la différence entre les deux parents d'un hybride est en partie de nature progressive et, pour d'autres caractères, de nature rétrogressive ou dégressive, la progéniture de l'hybride ne change pas pour les premiers, mais se disjoint pour les derniers (1). »

C'est donc principalement dans les croisements entre de multiples variétés, tels que les pratique si largement

[(1) Contre la généralité de ces règles, voir CORRENS, *Die Merkmalspaare beim Studium der Bastarde* (*Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft*, XXI, 3, 1903, pages 205 et suivantes).]

l'horticulture, que se manifestera le jeu bariolé des « altérations ». On y voit les caractères distinctifs des variétés se grouper de toutes les manières possibles et se comporter, en général, comme s'ils étaient autant d'unités bien définies et indépendantes. « L'analyse des organismes, dit à ce sujet DE VRIES, nous conduit ainsi à reconnaître chez eux des unités qui sont analogues, en bien des points, aux molécules de la chimie (1). »

L'hybridation nous permet précisément de disjoindre et, souvent, de combiner à notre gré ces caractères élémentaires et ils deviennent ainsi la source féconde des « altérations ».

2° Les variations acquises ou modifications, comme on peut les nommer.

Il s'agit ici d'une empreinte assez directe des conditions extérieures sur l'organisme, telle que la turgescence plus forte des tissus par l'effet d'une culture dans un milieu concentré ou l'abréviation de la période de végétation, obtenue par l'insolation continue durant le court été des hautes latitudes; et non pas de changements très indirects, comme la transformation excessive d'étamines en carpelles qu'une forte alimentation amène chez certaines variétés de Pavots.

Puis, parmi les variations qui ne dépendent pas d'une manière directe des conditions externes, une distinction s'impose qui a déjà été indiquée par

1. GREGOR MENDEL, *Versuche über Pflanzen-Hybriden* (*Verhandlungen des naturforschenden Vereines*, Brünn, IV, 1865, et VIII, 1869; republiés dans *Flora*, Ergänzungsband, 1901, et, en volume, sous le n° 121, dans la collection : *Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften*). — H. DE VRIES, *Sur la relation entre les caractères des hybrides et ceux de leurs parents* (*Revue générale de Botanique*, 15 juin 1903, page 246). — IDEM, *Mutationstheorie*, II, 1903, page 634.

DARWIN, mais que DE VRIES a précisée avec une inexorable logique, savoir :

3° Les variations quantitatives ou fluctuations.

Ce sont les différences en plus ou en moins dans la grandeur ou dans le nombre des organes semblables, par lesquelles les individus d'une même espèce se distinguent couramment les uns des autres. DARWIN les appelait « individual differences ». Sans doute, elles dépendent dans une certaine mesure des conditions ambiantes, mais sans présenter vis-à-vis de celles-ci une relation aussi étroite que les modifications dont il vient d'être question. Elles tiennent à la fois, par des enchaînements souvent lointains, aux inégalités originelles que chaque organisme apporte avec soi en naissant et aux conditions inégales que tous ont subies pendant leur développement individuel. Pour reprendre une idée exprimée récemment par KLEBS dans son ouvrage si suggestif sur les Modifications expérimentales des végétaux, les fluctuations indiquent, dans chaque cas, le degré d'imprécision dans notre pouvoir de réaliser des conditions, internes et externes, absolument constantes (1).

C'est de l'étude des fluctuations que s'occupe la statistique et, grâce aux travaux fondamentaux de notre QUETELET, à ceux de GALTON et de tant d'autres, leurs lois générales — à défaut de leurs causes — sont aujourd'hui connues. Leur amplitude est limitée et elles se groupent symétriquement, en plus ou en moins, autour d'une valeur moyenne, suivant les lois mêmes du calcul des probabilités. Voici, par exemple, la teneur en sucre de 40,000 betteraves de l'année 1896 : près de 8,000

(1) G. KLEBS, *Willkürliche Entwickelungsänderungen bei Pflanzen*, Iéna, 1903, page 143.

renfermaient 15.5 % de sucre, les autres valeurs se distribuant très régulièrement à droite et à gauche de cette moyenne. Si donc on prend comme abscisses les richesses saccharines et comme ordonnées le nombre de betteraves correspondant à chacune de celles-ci, on obtient la courbe ci-contre (figure 3).

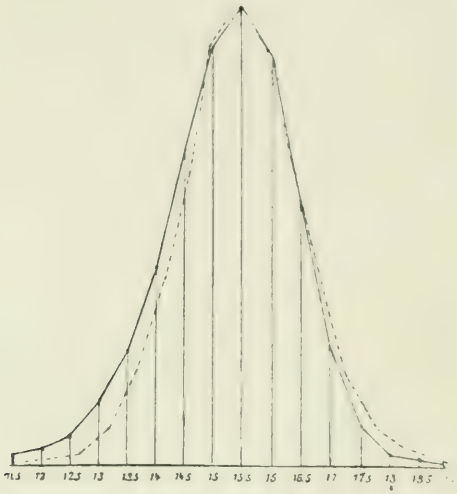


FIGURE 3. — Teneur en sucre de 40,000 betteraves.
(D'après DE VRIES, *Mutationstheorie*, I, page 74.)
La ligne interrompue représente la loi de QUETELET.

A ces fluctuations individuelles se rattachent les fluctuations partielles, c'est-à-dire les différences coutumières entre les diverses parties de même nom chez un même organisme, par exemple les inégalités de taille entre les feuilles d'un même arbre. Elles suivent les mêmes lois.

4° Les variations qualitatives ou mutations, comme les appelle DE VRIES : ce sont les « single variations » de DARWIN.

De temps en temps, on voit apparaître dans la progéniture d'un animal ou d'une plante un caractère tout à fait nouveau et inattendu, dont les causes déterminantes nous échappent jusqu'ici complètement et qui ne se rattache, en tout cas, aux conditions extérieures que par un lien encore plus indirect que les fluctuations. Ce n'est plus ici l'accroissement ou la diminution d'une qualité déjà existante, c'est une qualité nouvelle ou tout au moins un déplacement notable des qualités anciennes, une sorte de « saut ».

Lorsqu'il s'agit du cas assez rare de la manifestation d'un caractère vraiment nouveau, on dira, avec DE VRIES, que l'on a affaire à une mutation progres-

FIGURE 4. — La Chelidoine (Grande Éclaire) à feuilles laciniées : *Chelidonium laciniatum* Miller. A gauche, une fleur; au-dessous, une fleur de *C. majus*. D'après DE VRIES, *Mutationstheorie*, I, page 134.

FIGURE 5. — La Chélidoine ordinaire : *Chelidonium majus* L. (D'après DE VRIES, *Mutationstheorie*, I, page 135.)

sive ; on dira que la mutation est rétrogressive (ou régressive), quand un caractère existant disparaît ou devient latent; et on appellera dégressive, d'après sa terminologie, toute mutation qui consiste dans le passage d'un caractère à un état intermédiaire — semi-actif, semi-latent — entre la latence et l'activité complètes.

L'un des exemples les mieux connus de mutation (encore que nous ne puissions indiquer exactement dans laquelle de ces trois subdivisions il rentre) est la Chélidoine à feuilles et à pétales laciniés (figure 4) qui fut observée pour la première fois, au milieu de *Chelidonium majus* ordinaires (figure 5), vers 1590, dans le jardin d'un pharmacien de Heidelberg. Depuis lors, cette forme nouvelle s'est conservée sans changement, et on la reproduit aujourd'hui, au moyen de ses graines, dans la plupart des Jardins botaniques.

En 1897, on découvrit près de Lindau, parmi des Bourses-à-pasteur, quelques exemplaires d'une forme inconnue auparavant et qui, tout en ressemblant complètement au *Capsella Bursa-pastoris* par ses feuilles et ses fleurs, s'en distingue d'une manière profonde par la structure des fruits, différences du même ordre que celles qui constituent d'habitude des caractères génériques dans la famille des Cruciféracées. Le comte de Solms-Laubach qui l'a étudiée lui a donné, en l'honneur de celui qui l'a trouvée, le nom de *Capsella Heegeri;* il s'agit, à n'en pas douter, d'une mutation fortuite du *Capsella* typique, fidèlement transmissible par graines.

Entre les nombreuses espèces qu'il a cultivées à ce point de vue, de Vries en a fait connaître une qui présente depuis quelques années, en Hollande, une propension toute particulière à la mutation.

C'est l'*Oenothera Lamarckiana* Seringe, Onagracée à grandes fleurs jaunes, originaire d'Amérique comme l'*Oenothera biennis* si souvent cultivé dans nos jardins et dont elle est très voisine. En peu d'années, l'*Oenothera Lamarckiana* lui a fourni une dizaine de formes nouvelles, surgies brusquement, ne se distinguant d'ailleurs de la plante-mère que par de légères différences,

FIGURE 6. — Feuilles d'espèces issues, par mutation, de l'*Oenothera Lamarckiana : L, Oenothera* Lamarckiana ; *n, Oenothera nanella; g, Oenothera gigas; r, Oenothera rubrinervis : l, Oenothera lata; s, Oenothera scintillans.* (D'après DE VRIES, *Mutationstheorie*, I, page 207.)

mais dont la plupart se sont néanmoins maintenues constantes dans la suite : il les envisage comme des « espèces élémentaires » ou « petites espèces » et leur a donné les noms spécifiques de *Oenothera nanella, Oenothera gigas, Oenothera rubrinervis, Oenothera lata, Oenothera scintillans,* etc. (figure 6).

Sur les quelque soixante-quinze mille individus d'*Oenothera Lamarckiana* qu'ont embrassés jusqu'ici les cultures de DE VRIES, il en a trouvé de 1 à 2 % qui s'écartaient ainsi du type et constituaient, comme il dit, des mutantes.

D'autres exemples récents de variations brusques, sans avoir été étudiés d'une façon aussi approfondie que l'Onagre de LAMARCK, méritent pourtant d'être signalés ici.

Les Cyclamens de Perse (*Cyclamen persicum*), cultivés sur une grande échelle depuis une vingtaine d'années, ont commencé tout à coup, il y a trois ou quatre ans, à présenter une série de variations dans le plan floral : dédoublement de pièces de la corolle ou de l'androcée, pétales et étamines surnuméraires dans les cycles normaux de la fleur, formation de cycles corollins et staminaux supplémentaires, transformation d'étamines en pétales. Le professeur MASSART en a réuni une collection très démonstrative que j'ai pu examiner.

En ce moment même, un cas frappant existe au Jardin botanique de Bruxelles, qui s'est produit sous nos yeux. Il s'agit des descendants d'un même pied d'une Araliacée, le *Pseudopanax crassifolium*, variété *trifolium*. Le professeur CH. BOMMER vient de publier les photographies des feuilles de ces plantes (figure 7, page 208) (1); je les reproduis ici, en les complétant par des photographies d'ensemble (figure 8, page 209) (2).

1 FIGURE 7. — *Pseudopanax crassifolium* : photographies de feuilles appartenant à des exemplaires issus, au Jardin botanique de Bruxelles, des graines d'un même pied. Voir le texte. (D'après CH. BOMMER, *Nouveaux Mémoires de la Société belge de Géologie*, 1903, planche I.)

2 FIGURE 8. — *Pseudopanax crassifolium* : photographies faites en novembre 1902, d'exemplaires issus, au Jardin botanique de Bruxelles, des graines d'un même pied. Voir le texte.

« L'espèce type — dit Bommer — dont une forme est représentée en *a* (figures 7 et 8), produit une variété horticole *Pseudopanax crassifolium* variété *trifolium* (*b*), qui s'écarte considérablement du type. Les graines produites par des plantes appartenant à cette variété sont susceptibles de donner naissance à des individus se distinguant par des différences de feuillage très marquées Chez certains d'entre eux, les modifications du type spécifique originel s'accentuent (*c*), tandis que chez les autres elles tendent à s'atténuer (*d, d', f*) ou même à s'effacer complètement par retour aux deux formes de feuilles les plus fréquentes dans l'espèce type (*e* et *g, h*) (1). »

Ce qui empêche de voir dans ces *Pseudopanax* un exemple de mutations particulièrement étendues et indiscutables, c'est qu'il est fort possible qu'il y ait eu dans leur ascendance récente des croisements entre la variété *trifolium* d'où ils sont directement issus, et le type à feuilles indivises qui est sans doute leur ancêtre plus éloigné : les diversités signalées seraient alors, pour une part au moins, des « altérations », dans le sens défini plus haut.

De même qu'il existe, à côté des fluctuations individuelles, des fluctuations partielles, il peut y avoir, en dehors des mutations individuelles dont nous avons donné des exemples, des mutations partielles n'intéressant qu'un seul ou quelques-uns des nombreux bourgeons d'une plante. Les horticulteurs appellent cela des « sports », mais ils confondent sous ce nom certains effets de l'hybridation et des mutations

1) Ch. Bommer, *Les causes d'erreur dans l'étude des empreintes végétales* (*Nouveaux Mémoires de la Société belge de Géologie*, Bruxelles, in-4°, 1903, n° 1, page 6).

g
h
a
b
c

véritables. La figure 9 montre un exemple appartenant peut-être à cette dernière catégorie. C'est un rameau à feuilles laciniées, qui s'est développé sur un pied normal de Charme, parmi les semis de l'Institut agricole de Gembloux.

Dans les cas les plus frappants, la distinction est sans doute bien nette entre les fluctuations et les

FIGURE 9. — Rameau d'un Charme (*Carpinus betulus*) avec variation partielle. (D'après une photographie.)

mutations, celles-là toujours présentes, celles-ci très exceptionnelles; celles-là soumises aux lois des probabilités, celles-ci, en apparence, capricieuses; celles-là, comme nous le verrons, d'une fixation difficile et précaire, celles-ci, au contraire, généralement constantes dès les premières générations. Une jolie image de GALTON traduit très heureusement cette distinction. Qu'un polyèdre reposant sur une de ses faces soit

soumis à des secousses légères, il oscillera certes autour de sa position d'équilibre, mais tendra toujours à la regagner : ce sont les fluctuations. En revanche, une secousse un peu plus forte fera rouler le polyèdre sur la face suivante et lui donnera ainsi une position d'équilibre voisine, mais nouvelle : c'est une mutation.

On conçoit qu'il faille un concours de circonstances exceptionnelles pour amener dans une espèce vivante de ces fortes secousses, capables de changer d'une façon durable sa nature spécifique, sans être incompatibles avec son existence même. Il est donc très compréhensible que, sur une centaine d'espèces que DE VRIES a semées abondamment et dont il a épié la mutabilité, il en ait trouvé une seule, l'*Oenothera Lamarckiana*, qui fût précisément, comme il dit, dans une période de mutation. Autrement exprimé : la rareté même du phénomène nous porte à conclure que les espèces ne rencontrent qu'à de certains moments (le plus souvent même seulement en de certains endroits de leur aire géographique) l'ensemble des conditions internes et externes nécessaires pour provoquer en elles des « crises de mutation », séparées par de longs intervalles d'immutabilité spécifique plus ou moins complète. Et les données paléontologiques paraissent bien en harmonie avec l'existence de cette sorte de périodicité.

Il ne suffit donc pas de dire que l'*Oenothera Lamarckiana* est une espèce présentement mutable. Il faut préciser : on a en vue la colonie des *Oenothera Lamarckiana* naturalisés depuis 1870 sur un champ de Pommes de terre abandonné, aux environs de Hilversum, en Hollande, et transplantés de là au Jardin botanique d'Amsterdam. Car ailleurs — près de

Londres, par exemple (1), — cette même espèce ne présente pas actuellement de mutations. Ainsi l'on fait mieux ressortir qu'il ne s'agit point d'une qualité inhérente à telle ou telle espèce, mais d'une résultante de son état interne et des circonstances ambiantes — tout comme un changement dans un système matériel quelconque dépend de l'état du système et des forces étrangères qui agissent sur lui.

Outre ces *Oenothera*, outre les *Capsella* de Lindau, outre les Cyclamens mentionnés tantôt et les *Impatiens* de Bruxelles dont il sera question plus loin, on peut citer encore les Tomates (*Solanum lycopersicum*) qui subissent en ce moment dans les cultures aux États-Unis une crise de mutation, et le Cocotier (*Cocos nucifera*) qui en a subi une lors de son introduction par l'Homme aux Indes néerlandaises (2). Une étude attentive multipliera sans doute les exemples de ce genre.

Toutefois, il est peut-être prématuré de tenir pour absolue la distinction entre mutations et fluctuations. La profondeur des découpures foliaires « fluctue » évidemment chez le *Chelidonium majus* et chez le *Carpinus betulus* et, ainsi considérés, le *Chelidonium laciniatum* et le sport de Gembloux ne sont plus que des degrés exagérés, excessifs, insolites, dans l'échelle habituelle de la segmentation du limbe de ces plantes. La distinction est surtout délicate, sinon impossible, lorsqu'on rencontre une série d'états intermédiaires

(1) Voir MAXWELL T. MASTERS (*Gardener's Chronicle*, 1er décembre 1900, page 393).

(2) Sur la Tomate et le Cocotier, consulter DE VRIES (*Mutationstheorie*, II, pages 510-513), et les auteurs qu'il y cite; et IDEM, *Theorie en ervaring op het gebied der afstammingsleer* (*Onze Eeuw*, 1902, page 361).

reliant entre eux deux types extrêmes. Est-ce sous la rubrique des fluctuations ou des mutations qu'il faut ranger les différences très nettes de forme, de longueur, de largeur, etc., que SIMPSON a constatées entre les deux produits d'une même bipartition, lors de la reproduction par fissiparité de certains Infusoires (*Paramaecium caudatum* et *Stylonychia pustulata*) et tous les passages observés dans le Rhin supérieur, par LAUTERBORN, entre les deux espèces de Rotifères : *Anuraea macracantha* et *Anuraea tecta*, variations qui sont sous la dépendance des conditions biologiques et des saisons (1)? C'est que les fluctuations ne sont pas toujours purement quantitatives ni les mutations purement qualitatives : des fluctuations simultanées de longueur et de largeur chez une feuille peuvent changer sa forme, tout comme le font les « mutations » si soigneusement décrites par DE VRIES pour ses *Oenothera*. KLEBS vient aussi d'insister sur ce que les changements souvent extraordinaires que des animaux ou des Champignons parasites amènent dans tout l'aspect, la ramification, la structure anatomique d'une plante — et qui se rattachent à notre catégorie des « modifications » — sont bien plus profonds et plus qualitatifs que toutes les mutations observées jusqu'ici.

En tout cas, ce n'est pas bien formuler les choses que de parler, comme on le fait souvent, de variation continue lorsqu'il s'agit de fluctuation et de variation discontinue dans le cas de mutation. Car, en réalité,

(1) J. Y. SIMPSON, *The relation of binary fission and conjugation to variation* (*Report of the British Association for the Advancement of Science*, 1901, page 688) ; R. LAUTERBORN, *Der Formenkreis von Anuraea cochlearis, Ein Beitrag zur Kenntnis der Variabilität bei Rotatorien* (*Verhandlungen des naturhistorischen Vereins Heidelberg*, 1900, VI, page 412).

la variation est toujours discontinue, au sens propre du mot, puisque deux organismes ou deux organes quelconques présentent toujours entre eux, non des différences infiniment petites, mais des différences finies — ou, pour employer les symboles des mathématiciens, non des dx, mais des Δx.

Et, comme on le verra plus loin, il ne semble pas davantage que la transmissibilité héréditaire établisse entre les diverses sortes de variations une barrière infranchissable.

*
* *

Mais, comme les variations qui se présentent le plus communément sont petites, — qu'il s'agisse d'altérations, de modifications, de fluctuations ou de mutations — elles ne pourront aboutir à des différences notables et profondes, qu'à la condition de s'accumuler. On conçoit que, par un travail de sommation, d'addition progressive, des éléments, minimes en eux-mêmes, puissent produire des effets considérables. Voici quelques exemples des résultats prodigieux que l'accumulation des petites variations a réalisés entre les mains des éleveurs et des horticulteurs.

Parmi les animaux dont les variétés sont le plus nombreuses, il faut citer les Pigeons. Une foule de sociétés « colombophiles » s'occupent de les perfectionner, afin d'obtenir des races avec des plumages de plus en plus variés, des vitesses de plus en plus grandes, des instincts d'orientation de plus en plus sûrs. La Belgique s'est acquis à cet égard une réputation méritée.

Darwin a soumis les différentes variétés de Pigeons

à une étude approfondie, il s'est entouré de tous les renseignements que les sociétés colombophiles ont pu lui fournir et il est arrivé à la conclusion que ces variétés si diverses ont toutes une origine commune, qu'elles sont le résultat des efforts persévérants des éleveurs depuis un nombre considérable de siècles, car l'élevage du Pigeon remonte à une haute antiquité.

Ces races variées qui se rattachent toutes à un même type primitif, — probablement le *Columba livia* ou Pigeon de roche, — diffèrent entre elles par des traits extrêmement marqués. Ne vous figurez pas qu'il ne s'agisse que de nuances dans le plumage. Non : les différences portent sur le nombre des plumes de la queue, ce qui est un des caractères les plus constants chez les Oiseaux, — sur le nombre des vertèbres, sur la forme des os.

Des cas de ce genre existent aussi dans le règne végétal. Vous savez combien il y a de variétés de prunes, diverses par la couleur, la forme, le goût, les dimensions, etc. Eh bien, nos Pruniers cultivés peuvent tous se ramener à deux ancêtres originaires du Caucase : les prunes oblongues au *Prunus domestica*, les prunes rondes et les reines-Claude au *Prunus insititia*.

Un seul ancêtre sauvage, le *Cucurbita maxima*, a suffi pour tous les Potirons dont les variétés sont si curieuses, — depuis les Potirons ovoïdes ou allongés, jusqu'à ces amples Potirons en forme de turban qui sont sept ou huit fois plus larges qu'ils ne sont hauts.

Et l'on peut citer encore l'Artichaut et le Cardon, l'un avec ses gros capitules comestibles, l'autre avec ses capitules bien plus petits, à involucre très épineux

mais avec les côtes de ses feuilles fortement développées et devenues charnues. Nous savons que ces végétaux se rattachent à une souche commune, qu'ils dérivent tous deux d'une plante, le *Cynara cardunculus*, qui existe encore aujourd'hui à l'état sauvage dans le bassin de la Méditerranée.

Nous parlons là de races ou de variétés, parce que nous en connaissons l'origine; mais si un naturaliste trouvait côte à côte l'Artichaut et le Cardon sans savoir leur histoire, il n'hésiterait pas à les considérer comme deux espèces distinctes, tant sont grandes les différences qui les séparent. C'est du reste ce que font encore, malgré tout, la plupart des botanistes, puisqu'ils nomment l'Artichaut *Cynara scolymus*, et le Cardon *Cynara cardunculus*.

*
* *

Il n'y a donc pas de limite tranchée entre ce qu'on appelle communément une variété et ce qu'on appelle une espèce. La distinction n'est qu'affaire de degré, et le sentiment individuel des naturalistes influe beaucoup sur l'extension respective qu'ils donnent aux notions d'espèce et de variété : aucun critérium absolu ne peut les guider. Quand les différences sont petites, on parle de variétés; quand elles sont profondes, on se sert du mot : espèces; — et l'on peut dire, avec Darwin, que la variété n'est pas autre chose que le commencement de l'espèce ou, plus exactement, que la variété bien tranchée est elle-même une « petite espèce ».

S'il est vrai, comme nous l'avons indiqué tantôt, que les multiples variétés de prunes rondes, de reines-Claude, de mirabelles cultivées ont une commune

origine, on ne voit pas ce qui s'opposerait à ce que l'on étendit la même conclusion à tous les Pruniers indistinctement, puis aux Cerisiers, Abricotiers, Pêchers, Amandiers, qui ont avec le Prunier de si indéniables ressemblances — et ainsi, de proche en proche, pour toutes les Prunoïdées, puis pour toutes les Rosacées, puis, de gradation en gradation, pour tout le règne végétal.

III

Notre premier facteur : la faculté de se modifier, la variabilité, trouve un contrepoids dans un second facteur tout aussi essentiel : l'hérédité, c'est-à-dire la disposition qu'ont les organismes à reproduire les traits de leurs parents.

Entre ces penchants qui se contredisent et se contrarient, il y a une sorte de balancement, et l'aspect de l'être nouveau qui vient au monde est comme un compromis entre les deux tendances opposées : l'une qui cherche à l'éloigner du type dont il descend, l'autre qui essaie de l'y maintenir.

Éleveurs et horticulteurs connaissent bien la puissance de l'hérédité. Grâce à elle, ils sont parvenus à nous doter d'un grand nombre de races d'animaux et de végétaux précieux. Montrons au moins sur un exemple la façon dont agit l'hérédité pour fixer et en quelque sorte canaliser peu à peu le torrent des variations.

Il y a une quarantaine d'années (1863), le célèbre botaniste allemand Hofmeister ayant trouvé, par

hasard, un Pavot (*Papaver somniferum*) à étamines internes transformées en carpelles, s'efforça de fixer cette forme nouvelle. Il prit donc les graines de la capsule d'une des fleurs anormales et les sema les unes à côté des autres. Beaucoup de pieds de cette première génération présentaient simplement la forme ordinaire; ils étaient, comme on dit, retournés au type. Ce fut le cas pour 83 % des jeunes plantes, 11 % n'avaient que quelques étamines modifiées et seulement 6 % en avaient un grand nombre.

Hofmeister élimina tous les Pavots qui s'écartaient plus ou moins de la variété qu'il voulait conserver et ne prit les graines que des 6 % qui l'avaient reproduite fidèlement. Il obtint ainsi une seconde génération dans laquelle 17 % des plantes offraient la variation désirée. Après une nouvelle élimination, la troisième génération lui donna 27 %, la quatrième 69 % et la cinquième 97 %, c'est-à-dire la presque totalité.

Des expériences de ce genre et avec des résultats encore plus décisifs ont été exécutées par Hoffmann, Hugo de Vries et bien d'autres. Elles ne font, en somme, que répéter plus scientifiquement ce que les horticulteurs et les éleveurs pratiquent d'une manière constante; et leur succès est surtout rapide si l'on évite tout croisement avec le type primitif, ce qui n'avait pas eu lieu dans le cas de Hofmeister.

Les « fleurs nouvelles » que nous voyons mettre en vente chaque année par les horticulteurs sont obtenues ainsi (indépendamment de celles, fort nombreuses, qui proviennent d'hybridations compliquées), au moyen de variations accidentelles rencontrées dans les cultures. On les a, par un choix méthodique, fixées héréditairement au bout d'un certain nombre, ordi-

nairement assez restreint, de générations. C'est aussi d'une manière analogue qu'on réalise des races nouvelles de légumes, de fruits ou d'animaux domestiques.

*
* *

Il est utile d'examiner de plus près le mode d'action de l'hérédité, suivant qu'il s'agit de l'une ou de l'autre des sortes de variations que nous avons distinguées tout à l'heure.

A côté des races inconstantes, nous savons aujourd'hui que l'hybridation peut, dans certains cas, en fournir de constantes, à preuve le fameux hybride *Aegilops speltaeformis,* qui fit couler tant d'encre vers le milieu du siècle dernier. KERNER a montré que plusieurs formes sauvages, parfaitement fixes, telles que le Rosage intermédiaire *(Rhododendron intermedium = Rhododendron ferrugineum + Rhododendron hirsutum)*, le Nénuphar jaune intermédiaire *(Nuphar intermedium = Nuphar luteum + Nuphar pumilum),* la Doradille d'Allemagne *(Asplenium germanicum = Asplenium ruta-muraria + Asplenium septentrionale)*, etc., n'ont pas d'autre origine. Les règles de DE VRIES que nous avons citées permettent d'entrevoir dans quels cas les altérations dues à un croisement pourront être fixées et dans quels autres elles ne le pourront pas.

Pour les modifications ou variations acquises, on sait que la transmission héréditaire a été longtemps très discutée. WEISMANN, professeur à Fribourg en Brisgau, a eu le mérite de faire ressortir que fort souvent elle ne se produit point : il en est ainsi notamment des blessures et mutilations. Mais lui-même et ses partisans

sont allés, selon nous, trop loin dans la négation et il paraît incontestable qu'une transmission au moins partielle ait lieu dans certaines circonstances. Des expériences poursuivies par le Dr HUNGER dans mon laboratoire établissent la réalité de ce fait pour l'adaptation d'un Champignon *(Aspergillus niger)* aux solutions salines concentrées. Naturellement, cette transmission n'est pas très durable : produite par un changement dans les conditions ambiantes, elle s'effacera peu à peu, si les conditions nouvelles qui l'ont amenée ne persistent pas.

Les fluctuations individuelles ont une tendance à se conserver dans les descendants : personne ne le conteste. Mais, d'après une règle découverte par GALTON et d'application assez générale, les produits ne présentent en moyenne qu'un tiers de l'écart par lequel les parents s'éloignaient du type ordinaire. Il y a donc, à chaque génération, une certaine régression vers la médiocrité. Le vieil HOMÈRE en avait déjà fait la remarque :

> La plupart des fils sont moindres que leurs parents,
> peu sont meilleurs (1).

Il faut une accumulation soignée et prolongée pour que l'on arrive à accentuer fortement telle ou telle fluctuation et encore cette fixation héréditaire lente est-elle assez précaire : elle donne, non des espèces nouvelles, mais des races, dont les caractères sont toujours exposés à se perdre, pour peu qu'on les abandonne à elles-mêmes. C'est le cas des Betteraves riches

(1) Paroles dites par Athénê à Télémaque, dans l'*Odyssée*, chant II, traduction Leconte de Lisle, Paris, 1896, page 22.

en sucre, c'est le cas des races de Céréales les plus précieuses qui dégénèrent dès qu'on les néglige. Cependant, le retour au type ne se fait que petit à petit, et il y a là une preuve de plus de l'hérédité au moins partielle des fluctuations.

Au contraire, la plupart des mutations se perpétuent d'emblée d'une manière complète ou à peu près, à condition que l'on évite le croisement avec le type primitif. Tantôt la « nouveauté » ne s'éloigne de l'espèce-mère que par un seul détail, tel que la couleur des fleurs ou la forme des corolles ou, chez diverses Graminacées, la présence ou l'absence d'arêtes (« barbes »); tantôt elle en diffère, bien que légèrement, par tout l'ensemble de ses caractères, et l'on a devant soi une « petite espèce » ou « espèce élémentaire » nouvelle, aussi distincte et aussi fixe que les « petites espèces » observables à l'état sauvage. Plusieurs des formes nouvelles obtenues par DE VRIES aux dépens de l'*Oenothera Lamarckiana* sont reconnaissables et stables autant que les deux cents « petites espèces » de *Draba verna* décrites jadis avec un si grand soin par le botaniste JORDAN et dont la parfaite constance a été établie par ses propres essais de culture, ainsi que par ceux de THURET et BORNET, et de DE BARY. Pareillement, ce n'est chaque fois que la postérité d'une seule mutation accidentelle que représentent toutes celles de nos variétés horticoles qui ne sont pas d'origine hybride : sur ce point, les conclusions des études consciencieuses et indépendantes du regretté naturaliste russe KORCHINSKY (1) concordent tout à fait avec les vues de DE VRIES.

(1) S. KORCHINSKY, *Heterogenesis und Evolution* (*Naturwissenschaftliche Wochenschrift*, 1899); et *Flora*, Ergänzungsband, 1901.

Hérédité intégrale pour certaines mutations, hérédité très forte pour d'autres, hérédité moindre pour la plupart des fluctuations, hérédité plus faible encore pour beaucoup de modifications et, enfin, hérédité nulle pour les blessures, on voit que tous les degrés possibles se rencontrent dans la transmission des caractères. Mais que l'on se garde, encore une fois, d'attribuer à ces diverses catégories une valeur absolue. Et, pour confirmer ceci par deux exemples précis, DE VRIES lui-même a montré que certaines mutations de son *Oenothera* (*Oenothera scintillans*, *Oenothera elliptica*, etc.), ainsi que la forme à épis ramifiés du Plantain (*Plantago lanceolata ramosa*) ne se transmettent par graines que d'une manière très inconstante.

Tout ce que nous sommes en droit de conclure de ce qui précède, c'est que la véritable source des formes nouvelles et durables — c'est-à-dire des nouvelles espèces — doit être cherchée dans les mutations fortuites bien plus que dans les fluctuations individuelles ou les modifications acquises.

IV

Pour que les deux facteurs, la variation et l'hérédité, puissent agir efficacement, il faut encore qu'un troisième facteur s'en mêle : c'est le choix opéré à chaque génération entre les différents individus. Ce choix des éleveurs et des horticulteurs a reçu le nom de « sélection ».

Un semblable phénomène se produit-il aussi dans la nature ? Nous voyons bien dans la nature les variations naître toutes seules, l'hérédité agir sans

notre intervention, mais la sélection au moins ne nécessite-t-elle pas la coopération de l'Homme ? Si HOFMEISTER n'avait pas choisi soigneusement chaque année les graines de certains Pavots et éliminé les autres, serait-il parvenu à fixer la variété nouvelle ? Y a-t-il dans la nature une cause accumulatrice comparable à la sélection exercée par l'éleveur et par l'horticulteur ?

Le mérite immense qui appartient à DARWIN, c'est d'avoir compris et fait comprendre qu'un tel facteur existe aussi dans la nature et que cela permet d'expliquer, beaucoup mieux qu'on ne le faisait auparavant, l'origine des organismes. Aussi est-ce à bon droit que l'on range sur une même ligne DARWIN qui nous a dit le secret de la genèse des espèces, et NEWTON qui nous a donné, il y a deux siècles, l'explication de la marche des mondes. C'est à juste titre que l'Angleterre reconnaissante a placé leurs tombes côte à côte dans la cathédrale de Westminster.

Le grand fait que DARWIN et son contemporain WALLACE ont, les premiers, mis en lumière, bien que d'autres l'eussent vaguement entrevu, ce fait qui, grâce à leurs travaux, a pris une place maîtresse dans tous les domaines scientifiques, s'appelle la sélection naturelle ou survivance des mieux adaptés.

Que faut-il entendre par là ? Supposons une plante annuelle qui ne produise que deux graines ; c'est bien peu, et, cependant, si chacune des graines germait et produisait à son tour deux graines, et si cela se répétait chaque année, comme il y a là une progression géométrique, cette seule plante donnerait déjà, au bout de vingt ans, plus d'un million d'individus. Il me serait difficile de mentionner un cas tel que celui-là, tant il est au-dessous de la réalité. La grande majorité des

animaux et des végétaux donnent naissance à une progéniture bien plus nombreuse. Le Maïs produit, en moyenne, 2,000 graines par an ; l'Hélianthus (Grand Soleil), 4,000 ; le Tabac, dont les graines sont petites, environ 40,000. Quant à des végétaux, comme les Orchidacées, remarquables précisément par l'exiguïté de leurs graines, ils offrent des chiffres bien autrement fantastiques. Certains *Maxillaria* du Brésil forment dans chacune de leurs capsules environ 1 million 750,000 graines, et une plante ordinaire peut porter une demi-douzaine de ces capsules. Le nombre des graines chez d'autres Orchidacées peut atteindre 74 millions par an !

De tels chiffres se retrouvent aussi dans le règne animal.

Parmi les Poissons très prolifiques, je citerai l'Esturgeon, qui produit chaque année plusieurs millions d'œufs. Admettons que, parmi eux, un million seulement se développe en Esturgeons femelles qui, à leur tour, pondent un million d'œufs femelles. S'il en était ainsi, les Esturgeons de la troisième génération seraient déjà fort embarrassés de trouver de la place dans l'Océan ; et, à la quatrième génération, la quantité de caviar que ces Esturgeons produiraient formerait une sphère égale à la Terre tout entière !

Les êtres inférieurs fournissent des chiffres plus prodigieux encore.

Maupas, d'Alger, qui a étudié si patiemment les Infusoires, a calculé que ceux d'entre eux qui se reproduisent avec la vitesse très modérée d'une bipartition toutes les cinq heures environ à la température de 25 à 26° C., soit à peu près cinq fois dans le courant d'une journée, donneraient déjà, à ce compte-là, 1 kilo de protoplasme en six jours et demi, bien que chaque

individu ne soit pas gros comme une tête d'épingle. En allant à la cent cinquantième génération, c'est-à-dire après un mois, on arriverait à un nombre que je ne vous exprime pas, par la bonne raison qu'il n'y a pour cela de mot dans aucune langue, mais qui se représente par l'unité suivie de quarante-quatre zéros! Toute cette substance vivante comprimée formerait une masse un million de fois plus grosse que le Soleil !

Et les Infusoires ne sont pas les êtres dont la reproduction est la plus rapide et la plus abondante. Les Microbes l'emportent sur eux.

*
* *

Si, malgré cette multiplication effrénée, il y a encore assez de place dans l'Océan pour permettre à plusieurs Esturgeons d'y nager à l'aise, si toute la Terre n'est pas couverte de *Maxillaria*, et si la masse totale des Infusoires est négligeable devant celle du Soleil et même devant celle de la Terre, c'est donc qu'un grand nombre de ces germes n'arrivent pas à se développer. Il n'y a, entre eux, qu'une minorité infime qui se trouve dans des conditions favorables pour résister à toutes les causes de destruction, pour surmonter tous les obstacles et atteindre l'âge adulte. Il se produit, par conséquent, sur la surface du globe, de vastes et silencieuses hécatombes d'êtres vivants. Parmi les milliards de germes sans cesse appelés à la vie, il n'y a que peu d'élus qui soient en état de transmettre à une génération nouvelle la vie qu'ils ont reçue.

Dans le champ de Pommes de terre abandonné de Hilversum, par exemple, DE VRIES a constaté que, sur plusieurs milliers de graines d'*Oenothera Lamarckiana*,

un seul pied se développe : tout le reste ne germe pas ou meurt jeune.

Nous tous qui vivons et avons grandi nous sommes, par cela même, des privilégiés, — nous sommes les échappés d'innombrables désastres...

Mais, puisque les êtres d'une même génération ne sont pas identiques entre eux et qu'en un mot la variabilité existe, on conçoit que parmi les légères différences et, particulièrement, les mutations qu'ils présentent, il y en ait qui puissent être favorables à leur conservation, d'autres qui soient indifférentes et d'autres nuisibles. Par suite de leur diversité même, les chances de vie et les risques de mort ne sont pas les mêmes pour tous.

Un choix se fait donc dans la nature, — un choix aveugle, inconscient, fatal, — choix positif et négatif, par la survie des uns et par la prémort des autres, choix basé sur les caractères différentiels des individus qui existent simultanément : les moins bien adaptés tendent à disparaître, les mieux adaptés tendent à survivre. Tel est le double phénomène que Darwin a désigné sous le nom de sélection naturelle.

Il y a plusieurs années, j'ai eu l'occasion d'observer de près un exemple frappant de sélection naturelle, qu'il n'est peut-être pas sans intérêt de rappeler.

Diverses formes voisines de Scrophulariacées mexicaines appartenant à deux espèces de *Pentastemon* (*P. gentianoides* et *P. Hartwegi*) étaient cultivées côte à côte dans un jardin des environs de Bruxelles. Vous savez quel grand rôle les Insectes jouent dans la fécondation de la plupart des fleurs. Celles-ci sécrètent du nectar en abondance par la base renflée (figure 10, *n*) de deux de leurs étamines, et cependant, chose étonnante, les Insectes allaient butiner presque exclusi-

vement sur l'une des variétés, à fleurs mauves, et ne visitaient que très rarement les autres. Est-ce la couleur des corolles ou le goût du nectar ou son parfum qui était cause de cette singulière préférence? Nullement, car elle ne se manifestait plus, aussitôt que les corolles s'étaient détachées et étaient tombées sur le sol : dès lors, les Insectes les butinaient toutes indistinctement.

En regardant avec attention la manière dont les Insectes (quelques gros Diptères et des Hyménoptères)

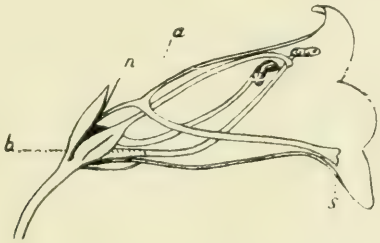


FIGURE 10. — Fleur de *Pentastemon* coupée suivant sa longueur. (Grandeur naturelle.)

arrivent au nectar, on se rend compte que s'ils négligent certaines de ces variétés de *Pentastemon*, c'est qu'un obstacle les arrête. Rappelez-vous que la cinquième étamine, absente de presque toutes les Scrophulariacées, a persisté au contraire chez les *Pentastemon* : c'est même de là qu'ils tirent leur nom. Seulement, cette étamine est transformée en un organe stérile, un « staminode », qui se détache de la partie supérieure et interne de la corolle à une certaine distance de sa base, s'infléchit vers le bas, traverse obliquement le tube de la corolle et appuie son extrémité libre (*s*) sur la lèvre inférieure. Lorsqu'ils entrent dans la fleur, pour atteindre le nectar au fond de la corolle, les Insectes avancent jusqu'à ce que leur tête vienne heurter le staminode qui leur barre le passage. Il faut

maintenant qu'ils allongent la trompe, et ils n'obtiendront tout le nectar que si la distance qui s'étend du point d'incurvation (*a*) du staminode au fond (*b*) du tube floral est moindre que la longueur de leur trompe déployée. Cette distance, qui était en moyenne de 8 millimètres dans la variété mauve, s'élevait, en moyenne à 12 1/2 et 13 millimètres dans les autres formes (rose vif, rouge foncé et rouge écarlate).

Vous comprendrez toute l'importance de cet écart minime, si vous songez que l'Abeille a précisément une trompe de 7 à 8 millimètres de long.

Et pourquoi les Insectes visitaient-ils pêle-mêle toutes les fleurs de *Pentastemon* une fois tombées, sans plus se soucier du point d'incurvation du staminode ? Mais c'est qu'ici ils tournent littéralement la difficulté et vont prendre le nectar non plus par l'ouverture habituelle de la corolle, mais par la base du tube. Seulement, à ce moment-là, cela ne sert plus en rien à la fécondation de la fleur.

Comme on pouvait s'y attendre, l'effet de la sélection exercée par les Insectes se montra clairement dans la fertilité de ces diverses formes de *Pentastemon* : les variétés négligées par les Insectes produisirent moins que le quart du nombre de graines de la forme mauve ! Ces graines-ci, grâce aux visites des Insectes, devaient provenir, pour la plupart, de fécondation croisée (allogamique), tandis que les autres dérivaient surtout de fécondation directe (autogamique), — de sorte que si ces diverses plantes avaient été livrées à elles-mêmes, la progéniture mauve étant à la fois la plus nombreuse et la plus robuste n'eût sans doute pas tardé à rester maîtresse du terrain et à éliminer les autres.

Par cet exemple, on voit que la sélection naturelle

peut consister non seulement dans le décès impitoyable des individus moins bien adaptés aux circonstances, mais tout simplement dans la production, chez certains, d'une postérité plus abondante et plus vigoureuse.

Et notez bien quel détail insignifiant peut décider ici de la vie ou de la mort d'une espèce : une différence de quelques millimètres dans le point d'attache d'un organe sans importance.

*
* *

C'est presque toujours sur de faibles différences que doit opérer la sélection naturelle et ses effets seront, par conséquent, très lents. Mais au lieu d'envisager quelques générations, dégageons-nous des limites étroites auxquelles l'histoire humaine nous a habitués, considérons par la pensée les durées immenses des grandes périodes géologiques, alors nous concevons sans peine que les progrès très petits, accomplis peut-être à de longs intervalles, mais graduellement additionnés, accumulés et comme « intégrés » dans une direction déterminée grâce à la sélection naturelle, puissent amener à la longue des résultats plus considérables encore que ceux qu'a obtenus Hofmeister en quelques années ou que les éleveurs et les horticulteurs atteignent en un temps relativement court.

A ce point de vue, il nous faut signaler l'intérêt capital offert par l'étude des changements que peuvent subir les Microbes.

Pourquoi ?

C'est qu'il s'agit de savoir ce qui arrive chez les êtres vivants à la suite d'un grand, d'un très grand nombre

de générations. Or, le temps n'est pas à notre disposition, et nous ne pouvons à notre gré faire passer les années et les siècles. La seule manière de réaliser une si gigantesque expérience sera de nous servir d'organismes chez lesquels la vie d'une génération soit tellement courte que les journées deviennent à leur égard des siècles, et les siècles des millions de siècles. De tels êtres existent : ce sont les Microbes et quelques autres organismes éphémères, à multiplication excessivement rapide, à générations innombrables qui, dans des conditions propices, se succèdent d'heure en heure.

Rien d'étonnant, par conséquent, que l'on ait réussi à obtenir à volonté chez bien des Microbes les modifications les plus profondes : virus transformés en vaccins, Bactéries inoffensives rendues pathogènes, espèces colorées métamorphosées en espèces incolores, Bactéries rendues « asporogènes », c'est-à-dire dépossédées de la faculté de former des spores, *Micrococcus* amenés d'une façon durable à la forme bacillaire, tout cela est connu aujourd'hui par des exemples indubitables (1).

Mais comme on pourrait soulever certaines critiques contre les déductions de cet ordre uniquement

(1) Voir, entre autres, à ce sujet : Léo Errera, *Hérédité d'un caractère acquis chez un Champignon pluricellulaire* (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 3e série, tome XXXVII [ou dans le volume *Physiologie Générale* du présent Recueil]). — Chez les Levures (et probablement chez les autres microorganismes), il s'agit bien de *modifications* acquises, puis fixées, et non, comme on se l'imagine parfois, de *mutations* fortuites qui auraient survécu dans des conditions données et se seraient conservées. Cela ressort surtout des expériences approfondies d'E. Chr. Hansen, *Recherches sur la physiologie et la morphologie des ferments alcooliques. X. La variation des Saccharomyces.* (*Comptes rendus des Travaux du Laboratoire de Carlsberg*, V, 1, 1900.)

appuyées sur la bactériologie, il est bon de constater que des changements, — que nous n'hésiterions pas à appeler spécifiques si nous n'en connaissions l'histoire, — ont été enregistrés aussi chez des êtres beaucoup plus élevés : leur valeur probante est à l'abri de la discussion.

J'ai déjà fait allusion au Cardon et à l'Artichaut, regardés jadis par tous les botanistes comme deux espèces distinctes et qui n'en dérivent pas moins tous deux du *Cynara cardunculus* de la région méditerranéenne. De même, HOFFMANN et, avant lui, CARRIÈRE ont pu transformer la Ravenelle (*Rhaphanus rhaphanistrum*) en Radis (*Rhaphanus sativus*), quoique ces deux espèces soient très différentes, qu'on les range dans deux sections du genre et qu'elles aient même été classées par TOURNEFORT, GÄRTNER, ENDLICHER et d'autres, dans deux genres séparés (*Rhaphanus sativus* et *Rhaphanistrum segetum*).

Il faut surtout rappeler ici le *Chelidonium laciniatum*, le *Capsella Heegeri* et les multiples « petites espèces » nouvelles engendrées sous les yeux de DE VRIES par l'*Oenothera Lamarckiana*. Je puis y ajouter encore un exemple intéressant. L'*Impatiens Sultani* Hook. f. est une Balsaminacée qui est restée longtemps en culture dans nos serres sous une forme unique et stable, à inflorescences biflores. Brusquement, vers 1899, cette espèce, cultivée sans mélange dans un établissement horticole des environs de Bruxelles, [où n'existaient même qu'un petit nombre d'exemplaires de cette plante,] donna naissance à neuf formes nouvelles, différant par la teinte, la dimension et la forme de la corolle et par le nombre des fleurs par inflorescence. Ce nombre s'éleva jusqu'à cinq — ce qui est caractéris-

tique d'une autre section du genre *Impatiens*. Dès la première génération, ces mutations se sont conservées par graines; et, depuis lors, leur culture s'est maintenue (1).

V

Tels sont, esquissés à grands traits, les principes fondamentaux sur lesquels repose la théorie moderne de l'évolution. On voit qu'ils ne sont ni bien nombreux ni bien complexes. La variation, en particulier la variation qualitative, fournit en quelque sorte la matière première : par elle se constituent, pièce à pièce, les formes nouvelles que l'hérédité fixe; et c'est à la sélection naturelle — à la libre concurrence et à la survivance des individus les mieux adaptés aux conditions ambiantes — qu'est due l'accumulation progressive, dans une voie déterminée, de mutations, plus ou moins restreintes lorsqu'elles sont prises une à une, mais à la somme desquelles on ne peut assigner aucune limite lorsqu'on embrasse du regard le long déroulement des âges.

Parlant de la variation, de la lutte pour l'existence et de la sélection naturelle, DE QUATREFAGES, l'un des principaux adversaires de DARWIN, déclare lui-même : « Ce n'est pas là de la théorie, ce sont des faits. »

Les mutations nous conduisent ainsi aux variétés fixées, celles-ci aux espèces distinctes et, de proche en proche, nous voyons une seule généalogie s'étendre à tout ce qui vit.

(1) L'exemple d'*Impatiens Sultani* m'a été obligeamment communiqué par mon collègue MASSART.

*
* *

Si nous ne craignions d'allonger outre mesure cet exposé élémentaire, nous montrerions que les sciences les plus diverses concourent à éclairer la grande notion de l'évolution et de la transformation des espèces, par un faisceau convergent de faits et de preuves. Nous ne pouvons en faire ici qu'une revue incomplète et rapide.

Un premier ordre de faits appartient à ce qu'on appelle la géographie des êtres. Les végétaux et les animaux, vous le savez, ne sont pas distribués au hasard à la surface du globe. De l'étude de leur répartition se dégagent certaines règles qui, toutes, aboutissent à nous faire entrevoir une origine commune pour les formes aujourd'hui les plus distinctes.

Lorsque, dans des régions éloignées, nous rencontrons des conditions de vie tout à fait analogues, des cavernes profondes dans lesquelles l'obscurité règne toujours ou bien de ces îles océaniques comme il y en a à quelque distance de l'Afrique et de l'Amérique, que devons-nous nous attendre à y trouver? Si les espèces ont été créées chaque fois sur place pour répondre aux conditions dans lesquelles elles vivent, il y aura sans doute dans les lieux analogues, quelque séparés qu'ils soient géographiquement, des êtres qui se ressemblent. Si, au contraire, les espèces descendent les unes des autres par filiation, si les formes que nous voyons aujourd'hui en un point donné dérivent de formes qui existaient antérieurement dans le voisinage, nous devons nous attendre à constater des similitudes entre les animaux et les plantes des cavernes et ceux

qui occupent les territoires environnants; entre les animaux et les plantes habitant les îles américaines et ceux du continent américain d'où ils ont pu émigrer dans la suite des temps; entre ceux des îles africaines et ceux qui peuplent encore maintenant l'Afrique continentale.

Or, c'est le second cas qui se réalise. Les végétaux et les animaux capables, grâce à leurs moyens de transport, d'arriver plus ou moins facilement du continent à ces îles lointaines, sont précisément ceux que l'on y observe : les autres font défaut. Il y a de vastes îles sur lesquelles les Mammifères ordinaires pourraient fort bien vivre et sur lesquelles ils vivent parfaitement lorsque l'Homme les y apporte en bateau, mais où ils ne peuvent arriver d'eux-mêmes à cause de la grande étendue d'océan à traverser. Eh bien, dans ces îles, une seule catégorie de Mammifères existe à l'exclusion des autres : les Chauves-Souris, à qui leur faculté de voler permet de franchir les espaces.

Rien n'est plus facile à comprendre quand on suppose que ces êtres provenaient du continent le plus proche; rien n'est plus difficile, si l'on se figure qu'ils ont surgi sur place, et l'on ne voit pas pourquoi la Puissance créatrice n'aurait pas aussi bien pu créer, dans ces îles, des Lapins que des Chauves-Souris.

L'anatomie comparée fournit à l'évolution un contingent de preuves inestimable.

Si toutes les espèces étaient le produit de créations distinctes, sans liens entre elles, on ne s'expliquerait pas pourquoi les mêmes traits fondamentaux se répètent avec une si surprenante constance. La main de l'Homme, le pied du Quadrupède, l'aile de l'Oiseau, la nageoire du Phoque, présentent dans leur structure d'incontestables similitudes, un même plan, un même

type de squelette. Cela se conçoit très bien, dès que l'on admet que tous ces êtres dérivent, par une longue filiation, d'une seule forme primitive : c'est alors la marque de l'hérédité commune. Mais pourquoi, je vous le demande, dans l'hypothèse de créations successives, la carcasse qui sert de support à l'aile de l'Oiseau

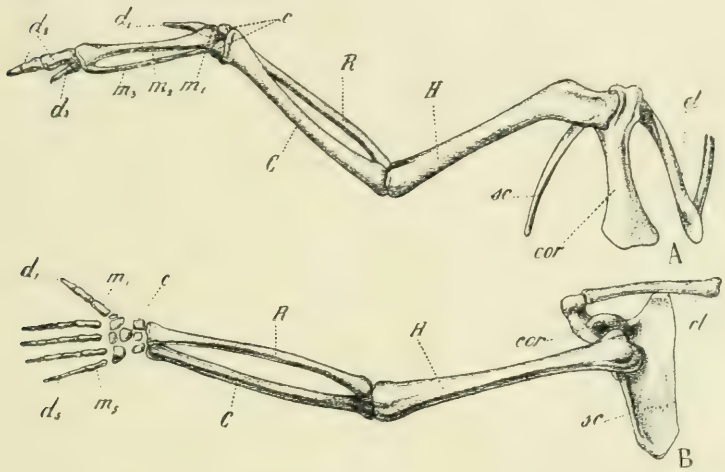


FIGURE 11. — Aile d'un Oiseau (A), et Membre antérieur de l'Homme (B). *sc*, omoplate. — *cor*, coracoïde. — *cl*, clavicules. — *H*, humérus. — *C*, cubitus. — *R*, radius. — *c*, os du carpe. — m_1, m_2... m_5, métacarpiens. — d_1... d_5, doigts.

devrait-elle être constituée comme celle qui sert de support à la nageoire du Phoque ou à la main de l'Homme (figure 11) ?

La Girafe avec son cou démesuré et l'Éléphant au cou trapu ont le même nombre de vertèbres cervicales : concordance facile à comprendre si tous deux dérivent d'un commun et lointain ancêtre, mais absolument inexplicable si l'on se figure la Girafe créée de toutes pièces comme Girafe et l'Éléphant créé de toutes pièces comme Éléphant.

Et les organes qu'on appelle « rudimentaires » et qu'il serait plus juste d'appeler « réduits » ? Que peuvent-ils signifier s'ils ne sont la trace d'un organe ancestral aujourd'hui perdu ? Ainsi, on trouve dans le bouclier situé derrière la tête des Limaces proprement dites une coquille réduite, bien caractérisée, répondant à celle des Escargots ; la plupart des Orchidacées ont à droite et à gauche de leur anthère fertile une légère saillie qui ne sert à rien, mais qui se trouve précisément en lieu et place des deux étamines fertiles des *Cypripedium ;* la fleur mâle de l'Ortie contient, au centre, un ovaire avorté, correspondant à l'ovaire bien développé des fleurs femelles ; dans la petite fleur verte de notre vulgaire Scléranthe, nous voyons alterner avec les étamines fertiles des filaments stériles, dernier vestige du second verticille d'étamines qui existe chez les Caryophyllacées typiques ; la Valérianelle a trois loges à l'ovaire, dont deux sont vides et stériles, mais représentent exactement les loges normales de l'ovaire dans la famille voisine des Caprifoliacées ; plusieurs Primulacées recèlent dans leur fleur un cercle de faisceaux qui n'alimentent aucun organe, mais qui aboutissent tout juste à l'endroit où se trouve, dans l'ordre voisin des Ébénales, un second cercle d'étamines...

En montrant les transformations que subit un être avant de parvenir à sa figure adulte, l'embryologie nous dévoile, à son tour, une série de faits du plus haut intérêt : ils tendent avec une impérieuse unanimité à suggérer la notion d'une descendance commune, tandis qu'ils demeurent, non seulement incompréhensibles, mais positivement absurdes, si nous essayons de les concilier avec l'hypothèse d'une création indépendante pour chaque espèce.

La similitude embryologique étonnante entre des organismes qui, à l'état adulte, ne se ressembleront plus du tout ; le passage de l'animal supérieur par une série de phases qui n'annoncent nullement sa forme définitive, mais qui rappellent étrangement les formes définitives d'autres êtres moins évolués que lui, ce sont là des notions aujourd'hui si familières qu'il n'est pas nécessaire d'y insister longtemps.

Vous savez sans doute que la Baleine a, pendant son développement embryonnaire, des dents qu'elle n'emploiera jamais; que l'embryon de la Blatte et celui de l'Abeille portent une paire de pattes sur chacun des anneaux de l'abdomen comme les Myriopodes adultes, alors qu'à l'état adulte tous les Insectes ne conservent que les six pattes thoraciques. Voilà des faits lumineux pour qui considère la Baleine, la Blatte, l'Abeille comme les descendants modifiés d'autres êtres qui avaient, ceux-là des dents, ceux-ci des pattes abdominales, et qui s'en servaient ; mais comment les accorder avec l'idée que ces animaux auraient été créés d'emblée pour les conditions où ils vivent aujourd'hui ?

Un autre exemple bien connu vous frappera plus encore, car il nous touche de près. Rien n'est si différent au point de vue du mode d'existence qu'un Mammifère et un Poisson, l'un adapté à la vie terrestre, l'autre complètement lié à la vie aquatique, l'un respirant par des poumons, l'autre par des branchies. Eh bien, l'Homme et les autres Mammifères traversent dans leur évolution embryonnaire une période où ils ont des arcs branchiaux qui, par leur position, leur structure, leur origine, représentent exactement le support des branchies des Poissons (figure 12). Cependant, le Mammifère ne se servira jamais de ces appareils

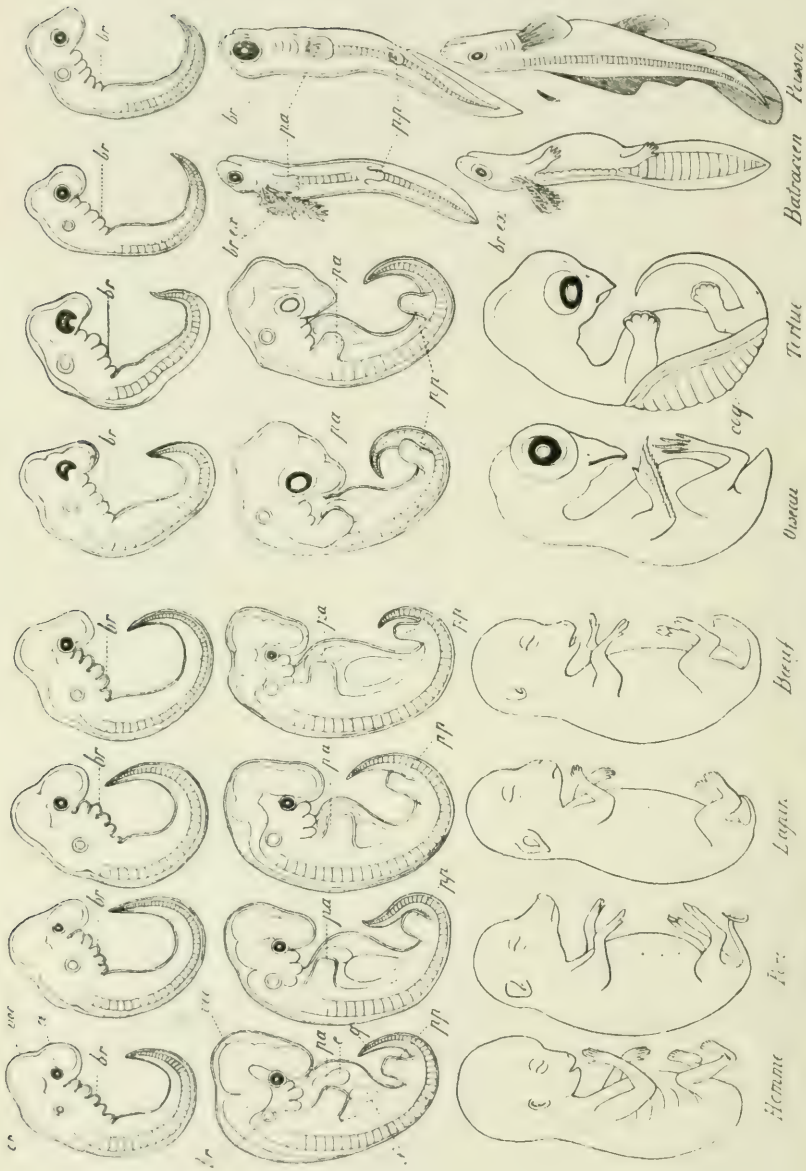


FIGURE 12. — EMBRYONS DE VERTÉBRÉS, A TROIS ÉTATS DE DÉVELOPPEMENT

br. Fentes branchiales. — *br ex*. Branchies externes. — *c*. Cœur. — *coq*. Carapace de la tortue. — *oe*. Œil. — *ot*. Oreille. — *pa*. Pattes antérieures. — *pp*. Pattes postérieures. — *q*. Queue — *ve*. Vésicules cérébrales.

(D'après E. BRÜCKER).

pour la respiration aquatique, et nous les voyons, dans la suite, disparaître comme tels et être utilisés pour la constitution de parties tout autres du Mammifère adulte : une portion du cou et de l'oreille moyenne en dérive.

Ceux qui hésitent à accepter la transformation progressive d'une espèce en une autre, ceux qui trouvent difficile de concevoir comment dans la longue suite des temps un Poisson a pu devenir un Mammifère, comment la structure qui convient à la respiration aquatique a pu se transformer en celle qui convient à la respiration aérienne, ceux-là n'ont qu'à suivre le développement embryonnaire d'un animal supérieur. La transformation qui, à première vue, semble impossible, s'accomplit sous leurs yeux et ils peuvent la voir s'achever dans l'espace de quelques mois.

Une branche des sciences naturelles, dont les enseignements ne le cèdent guère en portée à ceux de l'embryologie ou de la géographie des êtres, c'est la paléontologie. La distribution des organismes à travers le temps n'est pas moins significative que leur répartition actuelle sur le globe et, de part et d'autre, nous découvrons des règles fixes.

La plus remarquable, peut-être, la voici : les différences entre deux faunes ou deux flores sont d'autant plus grandes qu'elles sont plus distantes l'une de l'autre dans la série des terrains superposés. Ce fait pouvait se prévoir si nous admettons que les formes se sont succédé par filiation, mais non si ces formes dérivent chacune d'une intervention créatrice spéciale.

On en peut dire autant de la diversité que les êtres d'une même époque présentent entre eux : elle est

allée en augmentant de plus en plus, comme l'écartement des rameaux simultanés d'un grand arbre généalogique.

De ce grand arbre, certaines branches meurent parfois : des groupes finissent, des familles s'éteignent. Eh bien, une telle extinction est toujours irrévocable. Ainsi, lorsqu'on voit cesser ces Arthropodes bizarres et variés qu'on appelle des Trilobites, si abondants dans les terrains primaires, ou bien les *Sphenophyllum* du terrain carbonifère, ces Cryptogames vasculaires élancées et débiles, — ils ne reparaissent plus jamais. L'hypothèse d'une filiation nous en rend bien compte : c'est une lignée qui a disparu; d'autres lignées pourront se développer dans la suite, mais cette lignée-là est bien morte. Dans l'autre hypothèse, au contraire, je vous le demande, pourquoi la Puissance créatrice ne pourrait-elle pas faire naître actuellement des Trilobites ou des Sphénophyllales, comme elle en avait produit dans des périodes antérieures ?

La paléontologie a aussi fourni la preuve, d'une haute portée, que des groupes très distincts se rejoignent souvent dans le passé.

En dehors des Sphénophyllales qu'on vient de mentionner, les Cryptogames vasculaires ou Ptéridophytes comprennent, comme on sait, les trois classes des Filicales (Fougères) des Équisétales (Prêles) et des Lycopodiales.

Or, il y a peu d'années, un paléontologiste anglais très distingué, le docteur Scott, a fait connaître la structure d'une Sphénophyllale singulière, qu'il a appelée *Cheirostrobus*. Sans que je puisse entrer ici dans les détails, je dirai qu'on y observe une association étrange de caractères d'Équisétales et de Lycopodiales

— ce qui confirme l'idée, familière aux transformistes, d'une origine commune des divers groupes de Cryptogames vasculaires. Il est probable, comme le suggère le docteur Scott, que les Sphénophyllales sont le sommet, aujourd'hui éteint, d'une lignée d'où les Lycopodiales et les Équisétales ont divergé.

Une difficulté subsistait cependant. La structure anatomique des Équisétales fossiles — les Calamariales — semblait complètement distincte de celle des Sphénophyllales et des Lycopodiales fossiles. Chez celles-ci, en effet, le bois primaire se développait, dans sa totalité ou sa presque totalité, d'une manière centripète, tandis que, chez celles-là, il était centrifuge. Or, le même savant vient de décrire la tige d'une Calamite remarquable (*Calamites pettycurensis* Scott), dont chacun des faisceaux vasculaires possède, outre le bois centrifuge, un arc de bois centripète, dirigé vers la moelle. Le rattachement des Équisétales paléozoïques aux Sphénophyllales et, par elles, aux Lycopodiales, y gagne un précieux chaînon (1). [Citons encore l'exemple classique des ancêtres du Cheval, qui est trop connu pour qu'il faille y insister (figure 13).]

Mieux que tout cela, il y a un grand fait qui, sainement interprété, suffit à lui seul à donner la notion nette d'une filiation des espèces : c'est la possibilité même d'une classification naturelle.

De tout temps, ceux qui s'en sont occupés ont senti qu'il y a là autre chose que des ressemblances fortuites : quelque chose de plus profond, de plus

(1) D. H. Scott, *Studies in fossil botany*, Londres, 1900. — Idem, *On Cheirostrobus* (*Philosophical Transactions, Botany*, volume 189, 1897). — Idem, *On a primitive type of structure in Calamites* (*Annals of Botany*, décembre 1901).

intime, de comparable aux liens du sang, une véritable parenté en un mot. De même que les races, les espèces sont proches ou éloignées les unes des autres, et on les réunit, d'après cela, en sections, en genres distincts.

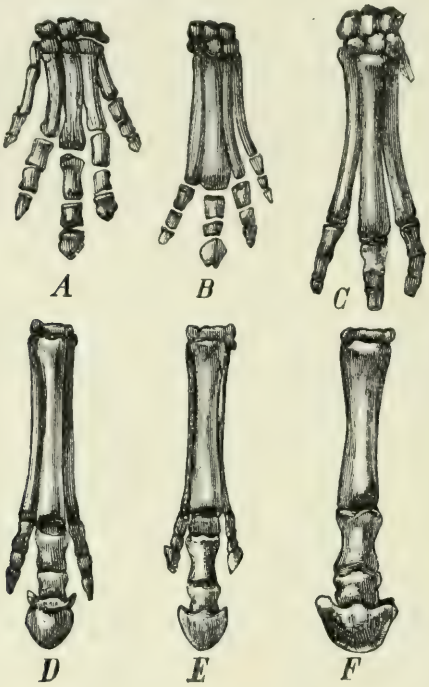


FIGURE 13. — Pattes antérieures des animaux européens intermédiaires entre le *Phenacodus* et le Cheval. — A, *Phenacodus* (commencement de la première période du Tertiaire). — B, *Hyracotherium* (première période). — C, *Palaeotherium* (deuxième période). — D, *Anchitherium* (troisième période). — E, *Hipparion* (fin de la troisième période). — F, Cheval (de la quatrième période à nos jours). (D'après E. BRÜCKER.)

Certains groupes sont si naturels qu'un enfant les reconnaît au premier coup d'œil et, au même titre que beaucoup d'espèces, ils s'imposent à nous. L'impression de parenté s'est traduite inconsciemment dans le

langage courant, puisqu'on parlait des « familles » de plantes et d'animaux longtemps avant LAMARCK et DARWIN. Les études, de plus en plus minutieuses, n'ont fait que fortifier une telle conviction. Aujourd'hui, la recherche de la classification des êtres nous apparaît clairement comme une vaste enquête généalogique.

VI

Plusieurs des résultats qu'a fournis cette enquête peuvent être tenus pour définitivement acquis. Je veux me borner à en citer un seul : la parenté des végétaux à fleurs (Phanérogames) avec les Cryptogames vasculaires, celles-ci comprenant, ainsi qu'il vient d'être dit, les Fougères, les Prêles et les Lycopodes, ceux-là constitués par les deux grands groupes les plus élevés du règne végétal : les Gymnospermes (Cycadales, Ginkgoales, Conifères et Gnétales) et les Angiospermes (Dicotylédones et Monocotylédones).

Déjà au milieu du siècle dernier, WILHELM HOFMEISTER — cet autodidacte génial — avait montré, en traits lumineux, comment les Phanérogames se rattachent aux Cryptogames vasculaires, par les Gymnospermes. Sans parler de l'accroissement secondaire qu'on croyait propre aux Phanérogames et qu'on a retrouvé chez d'incontestables Cryptogames vasculaires, cet enchaînement vient de recevoir, tant par la botanique fossile que par l'étude des formes actuelles, une double et éclatante confirmation.

Le tube pollinique et la graine ont été regardés depuis longtemps comme les deux signes les plus

caractéristiques des Phanérogames, tandis que la fécondation s'effectue chez les Cryptogames vasculaires au dehors de la plante-mère, sur un « prothalle » distinct, au moyen de spermatozoïdes ciliés et mobiles, et que ces plantes disséminent, en guise de graines, des cellules isolées, appelées spores.

Comparons succinctement, à ce point de vue, une Cryptogame vasculaire, la Prêle, avec une Phanérogame gymnosperme, le Pin.

Tout le monde connaît les Prêles (*Equisetum*) aux tiges et aux rameaux raides, portant, d'étage en étage,

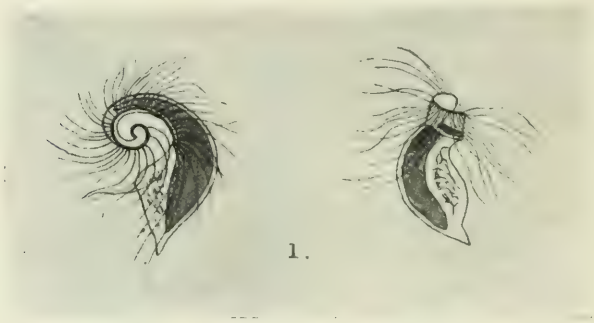


FIGURE 14. — Deux spermatozoïdes de Prêle (*Equisetum arvense*) vus, l'un de face, l'autre de côté. On y remarque les cils et le noyau allongé, représenté en gris. (D'après WL. BELAÏEFF, *Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft*, 1898, planche VII.

à chaque nœud, une collerette dentelée formée de feuilles réduites. Celles de leurs tiges qui sont « fertiles » se terminent par une sorte d'épi composé d'un grand nombre de feuilles modifiées, serrées les unes contre les autres et munies à leur face postérieure de sacs ou sporanges, remplis de spores. Cet épi est une première ébauche de ce qui sera la fleur chez les Phanérogames, et une collerette métamorphosée constitue à sa base le rudiment d'un périanthe.

Une fois disséminées, les spores — auxquelles deux rubans en croix donnent un aspect assez insolite — germent sur le sol et produisent un petit massif de cellules, vert, qu'on nomme prothalle. Les prothalles des Prêles sont, d'ordinaire, dioïques : les uns, femelles, beaucoup plus grands, produisent des œufs dans des archégones; les autres, mâles, plus petits, des spermatozoïdes dans des anthéridies. Ceux-ci sont gros, légèrement tordus en hélice, pourvus de nombreux cils (figure 14).

La fécondation consiste, comme on sait, dans la fusion d'un de ces spermatozoïdes avec un œuf; l'œuf se développe alors, sur place, en un embryon, lequel devient la Prêle complète, sporifère, d'où nous étions partis.

Les choses se passent, en apparence, tout autrement chez les Phanérogames, même les plus inférieures. Mais depuis les admirables recherches de Robert Brown et de Hofmeister, il n'est plus permis d'ignorer que, malgré les différences, la succession profonde des phénomènes ou, si l'on préfère, le rythme du développement, est en réalité le même dans les deux groupes. Au lieu de produire des spores toutes semblables d'aspect, comme les Prêles, le Pin (qui va nous servir de terme de comparaison parmi les Phanérogames) donne naissance à des spores de deux sortes : de grosses — macrospores — et de petites — microspores —, comme le font, du reste, déjà certaines Cryptogames vasculaires, les Sélaginelles actuelles et plusieurs Calamariales fossiles, par exemple. Seulement, ces spores sont désignées, chez les Phanérogames, par des noms particuliers : la macrospore s'y appelle sac embryonnaire, et la microspore grain de pollen.

En germant, le grain de pollen donne un long tube, le tube pollinique, qui se fraye un chemin à travers le micropyle et les tissus de l'ovule, et amène ainsi

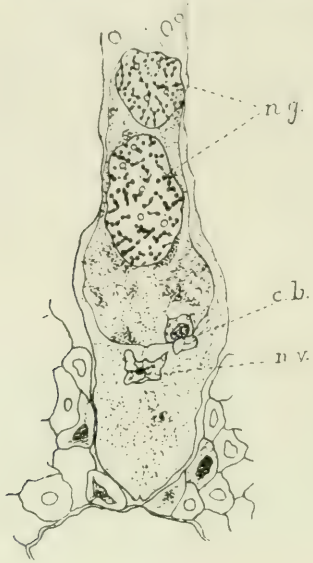


FIGURE 15. — Extrémité du tube pollinique de *Pinus Strobus*, pénétrant entre les cellules du col de l'archégone pour se diriger vers l'œuf : *n. g.*, les noyaux des deux cellules génératives réunies en une masse unique; *c. b.*, cellule basilaire; *n. v.*, noyau végétatif du grain de pollen. (D'après Mlle FERGUSON, *Annals of Botany*, XV, 1901, planche XIV.)

jusqu'au sac embryonnaire deux cellules mâles, immobiles, qu'il renferme : les cellules génératives (figure 15).

Comment s'est comportée pendant ce temps la macrospore unique du Pin, c'est-à-dire le sac embryonnaire? Elle a germé, sans quitter l'ovule, et a donné un prothalle femelle, connu ici sous le nom d'endosperme. Comme le prothalle femelle de la Prêle, celui du Pin produit un certain nombre d'archégones, et chacun d'eux contient un œuf.

L'une des cellules génératives est déversée dans l'œuf par le tube pollinique, et voilà la fécondation opérée. De même que tantôt, l'œuf se développe en embryon d'où dérivera une nouvelle plante de *Pinus*.

Mais la chose s'accompagne de cérémonies plus

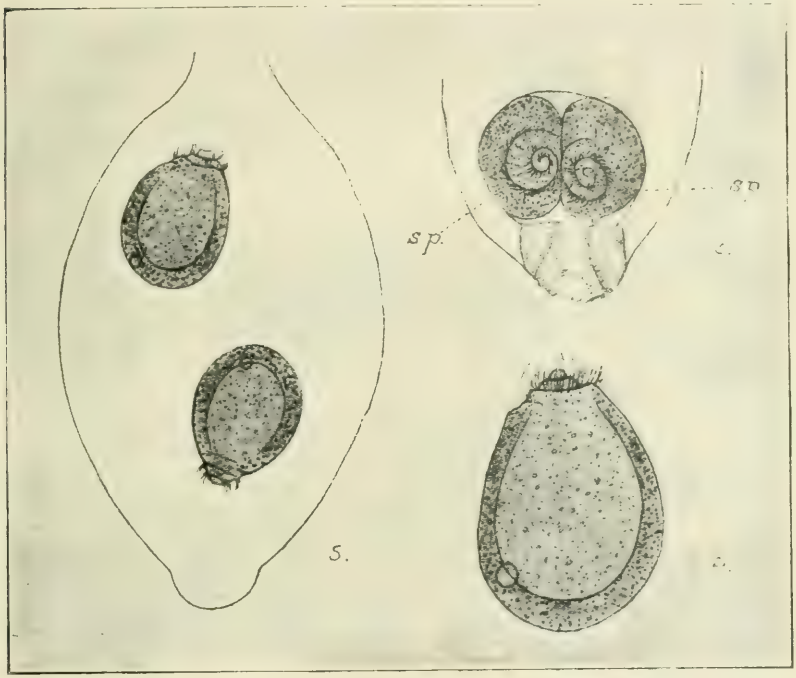


FIGURE 16. — *Ginkgo biloba*. — 3. Extrémité d'un tube pollinique. *sp.*, les deux spermatozoïdes, vus de face, avec leurs cils disposés en hélice. Ils sont encore dans leur cellule-mère et celle-ci est attachée à l'extrémité du tube pollinique par deux cellules emboîtées, dont l'interne représente probablement la cellule végétative, l'externe, en forme de cylindre creux, la cellule basilaire. (Grossissement : environ 200 fois.) — 4. Un spermatozoïde nageant dans de l'eau sucrée, vu de profil On remarque les cils, le gros noyau ovale et un petit globule d'aspect huileux (Grossissement : environ 370 fois.) — 5. Tube pollinique dans lequel nagent deux spermatozoïdes. (Grossissement : environ 200 fois.)

(D'après K. MIYAKE, *Journal of applied Microscopy*, V, nº 5, 1902.)

compliquées : l'embryon et l'endosperme se remplissent de réserves nutritives abondantes et sont entourées de téguments protecteurs, constituant ainsi une graine. Le moment de la dissémination ne coïncide plus, comme chez les Prêles, avec l'achèvement des spores; il est retardé jusqu'à la maturité de la graine, c'est-à-dire après la germination des spores, après la fécondation, après la formation complète de l'embryon.

Eh bien! au point de vue des spermatozoïdes comme à celui des graines, des transitions ont été récemment découvertes, telles que les transformistes osaient à peine les rêver.

Hofmeister s'était demandé « s'il ne se forme pas peut-être des spermatozoïdes dans le tube pollinique des Conifères ». Or, deux savants japonais, Ikeno et Hirase, ont trouvé, il y a peu d'années, que le tube pollinique renferme, dans quelques Gymnospermes (le curieux *Ginkgo* et les Cycadales), non pas des cellules génératives immobiles, mais deux spermatozoïdes ciliés (*sp.* figure 16 [3], figure 16 [4]). Ceux-ci commencent à nager à l'intérieur du tube pollinique — qui est même élargi, chez le *Ginkgo* (figure 16 [5]) de manière à former une sorte d'aquarium ovale — puis ils sont déposés dans une goutte de liquide au voisinage de l'œuf, et c'est en nageant qu'ils l'atteignent, tout comme chez une Fougère, une Prêle ou un Lycopode (1).

1) W. Hofmeister, *Vergleichende Untersuchungen der Keimung, Entfaltung und Fruchtbildung höherer Kryptogamen und der Samenbildung der Coniferen*, Leipzig, 1851. Voici le passage (page 140) : « Abgesehen von der verschiedenen Art der Befruchtung, bei den Rhizocarpeen und bei Selaginella durch freischwimmende Samenfaden, bei den Coniferen durch einen Pollenschlauch (in dessen Innerem *vielleicht* Samenfäden sich bilden), unterscheidet sich...», etc.

Les découvertes de Hirase et Ikeno datent de la fin de 1896. Voir aussi

Quelques épis de Lycopodiales fossiles (*Lepidocarpon*), découverts en Angleterre et étudiés par le docteur SCOTT, présentent, d'un autre côté, un certain nombre de sporanges qui ne disséminent point d'emblée leur contenu et s'entourent de téguments : l'unique macrospore fertile y formait son prothalle à l'intérieur du macrosporange et celui-ci se détachait tardivement, dans sa totalité, avec les restes de son « carpelle », c'est-à-dire de la feuille qui lui avait donné naissance. Il en résultait quelque chose de véritablement intermédiaire entre un sporange et une graine (1).

D'ailleurs, d'après les intéressantes observations publiées en 1901 par une botaniste américaine, Mlle F. M. LYON, il y a des Sélaginelles de la flore actuelle qui se comportent d'une manière semblable. Chez le *Selaginella apus* et le *Selaginella rupestris*, les macrosporanges s'ouvrent par une fente assez étroite, qui fait l'office de micropyle. Non seulement les macrospores germent et forment, sur place, leur prothalle femelle, leurs archégones et leurs œufs, mais les microspores sont projetées vers les macrosporanges,

S. HIRASE, *Études sur la fécondation et l'embryogénie de Ginkgo biloba* (*Journal of the College of Science of the University*, Tokyo, XII, 1898). — S. IKENO, *Untersuchungen über die Entwickelung der Geschlechtsorgane und den Vorgang der Befruchtung bei Cycas revoluta* (*Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik*, XXXII, 1898, page 557). — H. J. WEBBER, *Spermatogenesis and fecundation of Zamia* (*United States Department of Agriculture, Bureau of Plant Industry, Bulletin* nº 2, 1901). — K. MIYAKE, *The spermatozoïd of Ginkgo* (*Journal of applied Microscopy*, V, 5, 1902, page 1773).

(1) D. H. SCOTT, *Studies in fossil Botany*, Londres, 1900, pages 180-181. — IDEM, *The seed-like fructification of Lepidocarpon, a genus of Lycopodiaceous cones from the carboniferous formation* (*Philosophical Transactions, Botany*, volume 194, 1901). — CH. BOMMER, *Le genre Lepidocarpon* Scott (*Bulletin de la Société belge de Géologie*, tome XVI, 1902, Procès-verbaux, page 132). — SCOTT, *Professor Bommer on Lepidocarpon* (*The new Phytologist*, II, 1, janvier 1903, page 19). — Voir aussi ZEILLER (*Revue générale de Botanique*, 15 mars 1903, page 134).

et leurs spermatozoïdes spiralés pénètrent par la fente micropylaire. La fécondation se fait maintenant et la dissémination des macrospores est, on le voit, très retardée. On trouve même des embryons bien développés, avec cotylédons et racines, à l'intérieur des macrosporanges de la seconde de ces espèces, qui posséderait ainsi des graines, presque au même titre qu'une Phanérogame (1).

Enfin, on s'est aperçu qu'il existe dans les terrains primaires un groupe remarquable de fossiles, ayant des feuilles toutes pareilles à celles des Fougères et des graines assez comparables à celles des Cycadales : c'est du moins ce que l'on peut déduire, avec une quasi-certitude, des constatations importantes de Oliver et Scott, qui datent de quelques mois à peine (2). Ces végétaux méritent donc bien le nom de Cycadofilicales que, par un juste pressentiment, on leur avait donné depuis plusieurs années.

Je partage, pour ma part, l'opinion de mon ami, le docteur Scott (3), et je pense, d'après l'ensemble des faits que nous venons d'indiquer succinctement, que c'est parmi les Fougères à deux sortes de spores de l'époque primaire qu'il faut chercher les ancêtres des Gymnospermes et, par là, de toutes les plantes phanérogames. Dans la flore actuelle, la lignée ancestrale est le mieux représentée par le *Ginkgo* et les Cycadales, ces plantes vénérables qui ont encore des spermatozoïdes comme les Cryptogames; les Cycadales

(1) Florence May Lyon, *A Study of the sporangia and gametophytes of Selaginella apus and S. rupestris* (*Botanical Gazette*, XXXII, août et septembre 1901).

(2) F. W. Oliver et D. H. Scott, *On Lagenostoma Lomaxi, the Seed of Lyginodendron* (*Proceedings of the Royal Society*, LXXI, 1903, page 477).

(3) D. H. Scott, *The origin of Seed-bearing Plants*, conférence faite, le 15 mai 1903, à la « Royal Institution » à Londres.

ont, en outre, seules dans la végétation contemporaine, conservé dans leurs pétioles et les axes de leurs inflorescences le double bois caractéristique des tiges aussi bien que des pétioles de tant de plantes fossiles des temps primaires.

Tout cela concorde avec l'idée de descendance et exclut celle de juxtapositions dues au hasard, à la succession fortuite des interventions d'une Volonté créatrice.

La parenté des formes vivantes les unes avec les autres ressort non seulement de la comparaison de leurs caractères morphologiques, mais se traduit encore par leur conduite physiologique réciproque.

L'hybridation chez les animaux et chez les plantes en fournit une première preuve. Malgré l'insuffisance et l'obscurité de nos connaissances sur bien des points, il est certain que la possibilité d'une fécondation mutuelle et la fertilité des produits obtenus décroissent, d'une manière générale, à mesure que les deux formes dont on tente le croisement sont plus éloignées l'une de l'autre. Dans l'ensemble et toute réserve faite pour des exceptions et même des contradictions qui restent à éclaircir, l'affinité sexuelle marche de pair avec la parenté systématique (1).

D'autre part, des expériences intéressantes, dont il ne faut ni méconnaître ni exagérer l'importance, ont mis en relief récemment, par deux signes nouveaux, les relations de parenté physiologique et — au sens propre du mot — l'inégale consanguinité des espèces animales entre elles.

(1) Voir notamment l'exposé de DE VRIES, *Mutationstheorie*, II, 1903, page 654.

Le sérum du sang d'un animal a la propriété de détruire les globules rouges du sang de tout animal n'appartenant pas à sa propre espèce ou à une espèce assez voisine : cette « action hémolytique » concorde, d'une manière très générale, avec les limites des genres admis par les zoologistes, de telle sorte que l'hémolyse a lieu entre les sangs d'animaux génériquement différents, mais non entre les sangs d'animaux d'espèces distinctes classées dans un même genre. C'est ce qu'a démontré Friedenthal. Il a signalé toutefois une exception significative à cette règle. Les sangs de l'Homme et des Singes anthropomorphes sont inactifs les uns à l'égard des autres, tout comme s'ils appartenaient à un même genre. A cet égard, les grands Singes manifestent une parenté plus étroite avec l'Homme qu'avec les autres Singes.

Les recherches de notre compatriote, le docteur J. Bordet, et celles de Tchistovitch ont conduit par une autre voie à une conclusion pareille.

Si l'on injecte à un animal du sang d'un animal d'espèce différente, il se produit dans le sérum sanguin du premier une substance particulière qui précipitera désormais le sérum sanguin du second et celui d'animaux voisins. Ainsi le sérum d'un Lapin à qui on a injecté du sang d'Anguille acquiert par là le pouvoir de précipiter le sérum d'Anguille ; un sérum qui est précipitant pour le Cheval l'est aussi pour l'Ane ; celui qui l'est pour le Chien s'est aussi montré, dans les expériences du physiologiste anglais Nuttall, précipitant pour les autres Canidés étudiés. En injectant à un Lapin du sang de Grenouille verte, Maurice Philippson a obtenu un sérum précipitant pour la Grenouille verte et la Grenouille rousse, mais sans action chez la Rainette, le Crapaud et la Salamandre.

Ici également, les sangs de l'Homme, du Gorille, du Chimpanzé et de l'Orang-Outan se comportent comme s'ils ne faisaient qu'un, tandis qu'un sérum précipitant à leur égard ne donne que des réactions faibles avec le sang des autres Singes (1).

Mais, plus haut encore que les rapports de la classification ou les relations physiologiques nous sentons planer l'unité de la vie. Tous les organismes sont construits essentiellement avec les mêmes matériaux, les phénomènes primordiaux de la nutrition, de la respiration, de la croissance sont partout les mêmes; l'œuf végétal est conforme à l'œuf des animaux, la fécondation est pareille de part et d'autre; les mêmes traits se retrouvent dans l'irritabilité et — pourquoi ne pas dire le mot? — dans les actes psychiques élémentaires de l'Amibe et de l'Homme... Une même physiologie se dégage de l'étude de tant d'êtres divers : chez tous, le protoplasme manifeste son unité fondamentale. Et ainsi chaque cellule porte en quelque sorte en soi la trace vivante de sa parenté avec toutes les autres...

VII

Munis de ces notions, nous pouvons revenir maintenant à notre problème initial.

Nous avons vu qu'un premier effet de la sélection naturelle est d'accumuler les variations dans une même

1 Voir MAURICE PHILIPPSON, *Sur les propriétés spécifiques et génériques des sérums sanguins* (*Recueil des Travaux du Laboratoire de physiologie*, Instituts Solvay, tome V, fascicule 1, 1902) où se trouve aussi la bibliographie.

direction et de développer ainsi, à la longue, des caractères qui séparent d'une façon complète une espèce d'une espèce voisine. La connaissance de ce choix aveugle, résultant, vous vous en souvenez, de la prémort des uns et de la survie des autres, va nous permettre encore d'aborder la question, grave et délicate entre toutes, de la téléologie ou de l'adaptation.

On dit qu'une chose est adaptée à l'emploi auquel on la destine, lorsque tous les détails de sa construction

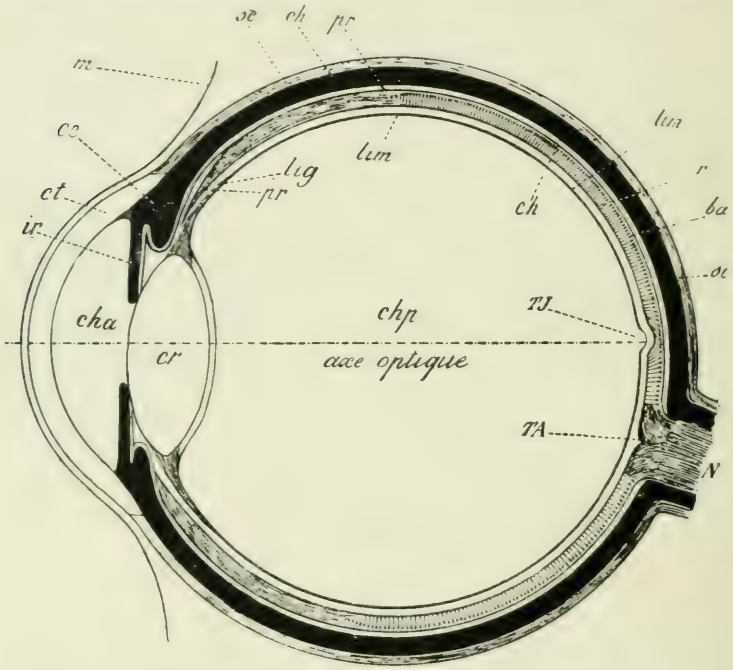


FIGURE 17. — Coupe horizontale de l'œil droit
D'après E. BRÜCKER, *Sciences naturelles*, volume I, page 303.

sont parfaitement en rapport avec le travail à accomplir. Appliqué aux êtres vivants, ce terme indique donc une concordance entre les moyens et le but, une harmonie entre la structure et la fonction.

Faut-il énumérer des preuves de l'existence de telles adaptations chez les êtres qui nous environnent, et un moment de réflexion ne suffit-il pas à nous en convaincre? Si vous considérez l'œil (figure 17), si vous observez comment les cils, les paupières, les sourcils le protègent contre les dangers du dehors, si vous songez aux larmes qui viennent sans cesse humecter sa surface de manière à faciliter le glissement des paupières, à l'iris, à la pupille, cet orifice qui s'agrandit ou se rapetisse suivant que l'éclairage est plus ou moins intense et qui admet dans l'œil une quantité toujours réglée de lumière, si vous vous arrêtez ensuite à tous les milieux transparents placés derrière la cornée et l'iris : l'humeur aqueuse, le cristallin, l'humeur vitrée, qui concourent tous à dévier les rayons lumineux et à projeter au fond de l'œil, sur la rétine, une image des objets extérieurs, si vous vous représentez enfin le cordon nerveux qui transmet au cerveau les impressions que la rétine a reçues, vous ne pouvez manquer de voir combien, jusque dans les moindres détails, l'organe est ici adapté à la fonction qu'il remplit.

Les fleurs nous offrent de non moins grands sujets d'admiration : combien sont compliquées les structures qui assurent à un *Asclepias*, à une Aristoloche (figure 18), à un Épilobe (figure 19), à un Orchis, à un Bluet, à une Sauge (figure 20), les avantages de la fécondation par l'intermédiaire des Insectes !

Il semble, à première vue, que dans l'étude de ces merveilleuses adaptations, nous soyons acculés à une véritable impasse intellectuelle. Les expliquerons-nous par l'intervention d'une Intelligence supérieure à la nature ? Mais partout, dans le cours des phénomènes naturels, nous ne voyons s'enchaîner que des effets nécessaires et des causes aveugles. Sortir de là, c'est

recourir au miracle, c'est quitter le domaine des sciences naturelles pour entrer dans celui de la foi. Et d'un autre côté, nous ne pouvons nous contenter,

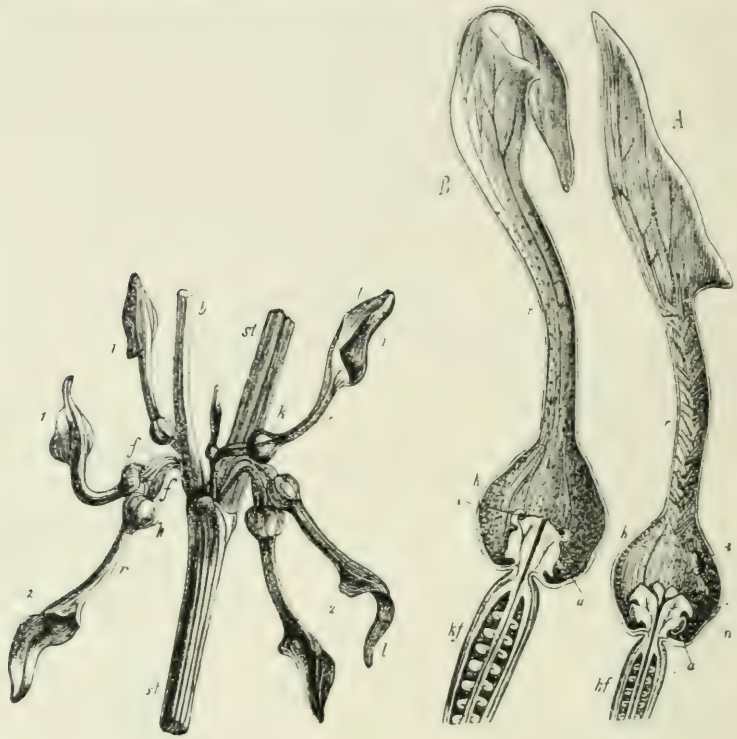


FIGURE 18. — *Aristolochia Clematitis.* — A gauche, inflorescence avec des fleurs de divers âges : 1, fleurs jeunes non fécondées ; 2, fleurs fécondées ; *b*, base d'une feuille ; *st*, tige. A droite : *A*, fleur jeune avec le tube du périanthe (*r*) garni de poils raides qui empêchent les Insectes de sortir Une Mouche (*e*) qui est entrée dans la portion inférieure, élargie, de la fleur (*k*) ne sera mise en liberté que lorsque les poils du tube seront flétris (fleur *B*). La fleur sera alors pollinée. (D'après SACHS.)

comme le faisaient certains philosophes du XVIIIe siècle, de dire que, parmi les organismes possibles, quelques-uns se sont trouvés par hasard constitués avec des organes appropriés aux besoins et que ceux-là seuls

se sont conservés. L'enchaînement, la régularité, l'harmonie ne sauraient être attribués au simple hasard.

Miracle providentiel ou hasard insuffisant, notre

FIGURE 19. — Sommet d'une inflorescence d'*Epilobium spicatum*. Tout en haut, boutons. Puis trois fleurs récemment épanouies dont les étamines sont ouvertes mais dont les stigmates ne sont pas mûrs. En bas, trois fleurs plus âgées (une est déjà fanée) dont les étamines sont flétries et dont les stigmates sont écartés.

(D'après KERNER.)

intelligence serait-elle éternellement ballottée entre ces deux écueils, n'évitant la Foi qu'au prix d'une inadmissible Négation ?

Ce sera — nous l'avons dit — l'éternel honneur du darwinisme d'avoir, pour la première fois, tiré l'esprit humain de l'angoisse de ce dilemme et d'avoir trouvé une solution, au moins plausible, à ce qui paraît d'abord une contradiction sans issue (1). C'est là ce qu'il me reste à indiquer.

*
* *

Retournons un moment aux végétaux cultivés et aux animaux domestiques. Nous y constatons un fait qui, lui aussi, paraît bien extraordinaire : c'est que les diverses races d'une même espèce d'animal ou de plante utiles à l'Homme se distinguent entre elles précisément par ceux de leurs caractères auxquels l'Homme attache de l'importance au point de vue de ses besoins, de son plaisir, de son industrie. Les Moutons diffèrent entre eux par la qualité, l'abondance, la précocité de leur laine; les races de Chevaux diffèrent par la vitesse, la vigueur avec laquelle elles peuvent tirer des fardeaux; nous avons dit combien sont nombreuses les variétés de Pigeons, que séparent l'une de l'autre les détails de leur plumage, la sûreté de leur orientation, la rapidité de leur vol. Les Pensées, les Violettes, les Roses, si diverses quant aux contours, aux dimensions, au coloris, au parfum

[(1) Ces deux dernières phrases sont citées (avec une légère faute d'impression et l'omission d'un membre de phrase) par M. Jean Haleux, professeur à l'Université de Gand, dans son article intitulé : *Science positive et Questions d'origine* (Bruxelles, O. Schepens et Cie, 1907, page 29). L'auteur objecte que le Darwinisme sans l'idée de finalité et de providence se ramène au hasard. Comment, demande-t-il, expliquer la sélection naturelle sans une cause première ? Ne pourrait-on répondre à M Haleux : Est-ce donc l'expliquer que d'invoquer une cause première ? Et qu'a-t-on fait, en substituant au hasard, force que nous connaissons sans pouvoir l'expliquer, la Providence, force que nous ne pouvons ni expliquer ni connaître. (Note de l'éditeur.)]

de leurs fleurs, se ressemblent dans toutes les parties auxquelles nous ne nous intéressons pas, telles que leurs racines, leurs tiges et leurs feuilles.

Il en est de même pour les autres productions végétales qui nous sont familières. Considérez les arbres

FIGURE 20. — Fleurs de *Salvia glutinosa*. 1, fleur dans laquelle pénètre profondément un Bourdon : les étamines basculent et le recouvrent de pollen; 2, fleur sur laquelle un Bourdon vient de se poser : il frotte son dos couvert de pollen contre le stigmate; 3, 4, 5, étamine isolée et fleurs coupées longitudinalement pour montrer la façon dont les étamines sont attachées à la corolle et comment les anthères basculent en avant quand un Insecte entre dans la fleur.

fruitiers : Poiriers, Pommiers, Pruniers, Groseilliers et que sais-je encore? et remarquez combien il y a de dissemblance entre les dimensions, l'aspect, la précocité, la saveur de leurs fruits que nous mangeons, et combien, au contraire, sont peu marquées les divergences dans la tige, les feuilles ou les fleurs qui nous sont indifférentes. En revanche, chez les Betteraves les écarts portent surtout sur les racines; chez les Pommes

de terre, sur les tubercules; chez les Céréales, sur les grains...

A ce point de vue, les vulgaires Choux sont particulièrement instructifs.

Une seule espèce, le Chou potager (*Brassica oleracea*), compte déjà, d'après le dénombrement le plus récent, 122 sortes principales. Voyez-en quelques-unes, représentées toutes à la même échelle (1) : d'abord l'ancêtre sauvage (nos 1 et 2) qui pousse sur les côtes d'Angleterre, de Normandie, du Pas-de-Calais; puis le Chou frisé (no 3) aux grandes feuilles crépues; le Chou-fleur (no 4) dont l'inflorescence ramassée, blanchâtre, charnue est devenue comestible; le Chou-rave (no 5) à la tige courte, renflée en toupie; le Chou rouge (no 6) dont les feuilles lisses sont réunies en une « pomme » dense et séveuse; le Chou de Bruxelles (no 7) qui a une tige assez élevée, le long de laquelle se pressent de nombreux bourgeons capités; et, pour finir, le géant, le Chou cavalier de Jersey (no 8), à la tige ligneuse plus haute qu'un homme, aux grandes feuilles qu'on enlève pour l'alimentation du bétail. Que de différences dans les feuilles et les tiges utilisées par l'Homme, et à côté de cela, chez toutes ces races, quelle surprenante similitude dans les autres parties, comme si les Choux avaient prévu que c'est pour les organes végétatifs que l'Homme les sème, et que leurs fleurs, leurs siliques, leurs graines n'ont pas d'intérêt pour lui !

Est-ce que vraiment les végétaux cultivés, les animaux domestiques étaient prédestinés à nous servir? Beaucoup d'entre eux sont plus anciens que nous à la surface du globe : attendaient-ils, d'avance, notre venue? Le

[(1) Voyez plus haut, pages 151 et suivantes, toutes les figures auxquelles renvoient les numéros cités ici.]

Cheval, par exemple, était-il destiné de tout temps à la traction de nos fardeaux et à nos paris de courses ?

Evidemment, non. Si tous ces êtres se diversifient par les qualités qui nous intéressent et offrent tant d'analogie entre eux dans les parties qui ne nous intéressent pas, nous savons bien à quoi cela est dû. C'est la sélection qui a produit cette merveille. Dans le choix qu'ils font à chaque génération d'animaux ou de plantes, l'éleveur, le cultivateur s'attachent aux caractères qu'il leur importe de développer ou de modifier, tandis qu'ils négligent les autres. Parmi les Chevaux de courses, on garde de préférence pour la reproduction les plus vigoureux et les plus rapides ; parmi les arbres fruitiers, on réserve ceux qui présentent les fruits les plus savoureux ; parmi les Choux, on choisit comme porte-graines ceux dont les feuilles ont un goût agréable, forment une belle « pomme » et ont la précocité voulue, mais l'horticulteur se soucie fort peu de savoir si ses Choux ont des fleurs plus grandes ou plus petites, plus claires ou plus foncées.

L'accumulation des différences, de génération en génération, se concentre par conséquent sur certains caractères qui nous importent, et; par cela seul, ce sont ces caractères-là qui vont être les signes distinctifs des races nouvelles que nous aurons produites.

*
* *

Demandons-nous maintenant si la sélection qui s'accomplit aveuglément, fatalement, à l'état sauvage, ne va pas tendre à un résultat tout semblable.

Supposons que dans des conditions déterminées — et nous avons vu que cette supposition n'a rien de gratuit — un détail de structure florale, en variant

légèrement dans un sens ou dans un autre, procure aux individus qui en sont doués une chance de l'emporter dans la concurrence pour la vie, c'est-à-dire de résister mieux aux causes de destruction, une chance de plus de donner naissance à des graines et, par suite, de se continuer dans des descendants. Il est clair qu'alors, parmi les nombreuses fleurs formées côte à côte chez une même espèce, celles qui, par hasard, se trouveront varier dans la direction favorable fructifieront mieux que les autres, et, dans les générations suivantes, il y aura déjà une proportion plus marquée d'individus dérivant des graines produites par ces fleurs favorisées, et une proportion moindre d'individus issus des graines produites par les autres fleurs.

On entrevoit, au moins d'une façon générale, qu'à chaque moment la concurrence, la lutte qui existe entre les différents êtres d'une même espèce, doit donc nécessairement amener de plus en plus la conservation et l'accumulation des variations utiles. Qu'un coloris un peu plus vif, qu'une sécrétion sucrée un peu plus abondante soient, dans des conditions données, avantageux pour une fleur, qu'en attirant plus d'Insectes fécondateurs la plante ait ainsi plus de chances de produire des graines et de se perpétuer, et l'on conçoit que ces détails se conservent, s'additionnent, puis que l'on arrive, au bout d'un nombre de générations plus ou moins élevé, à des fleurs remarquables par l'éclat de la couleur ou l'abondance du nectar.

Si, au contraire, dans les conditions dans lesquelles un organisme se trouve, tel organe qu'il possédait jusque-là devient inutile, on comprend très bien que la sélection naturelle ne tendant plus à conserver cet organe, il disparaisse petit à petit, d'une façon plus ou moins complète, par la raison que les individus chez

lesquels l'organe en question sera peu ou point développé ne se trouveront pas le moins du monde en arrière des autres, mais, au contraire, qu'une certaine quantité de matières plastiques ainsi disponible pourra être employée par eux en faveur d'organes encore utiles.

Il y a donc dans la nature, par le fait de la sélection et de l'hérédité, une tendance immanente à reproduire dans chaque génération les traits des formes qui l'ont emporté dans les générations précédentes et à éliminer les autres. Et puisque le même triage pourra se répéter à chaque génération nouvelle, puisque l'hérédité intervient pour conserver et fixer les variations victorieuses, il y aura accentuation et accumulation graduelles des caractères qui ont assuré aux générations antérieures leur conservation et leur survivance.

Chaque caractère avantageux, chaque structure complexe, chaque adaptation merveilleuse, se décomposant ainsi en une infinité de petites mutations conservées une à une, précisément parce qu'elles étaient utiles, et additionnées ou, mieux, intégrées dans la longue série des temps, demeurent sans doute encore admirables, mais deviennent un peu moins incompréhensibles.

La mutabilité est aveugle : les constatations faites sur l'*Oenothera Lamarckiana* et ailleurs montrent assez que les mutations se produisent dans tous les organes et dans presque toutes les directions, sans norme et sans but. Par elles-mêmes, elles ne contribuent donc en aucune façon à élucider le grand mystère de l'adaptation, et la notion de sélection naturelle reste toujours notre seule ressource, en nous faisant comprendre comment un mécanisme perfectionné peut s'édifier par l'addition lente de mutations utiles.

De Vries ne s'y est pas trompé. Tout en déclarant

qu'il laisse ce côté de la question en dehors de ses études actuelles, il dit : « La haute valeur de la théorie de la sélection de DARWIN tient, comme tout le monde le reconnaît, à ce qu'elle explique la finalité dans la nature organique, au moyen de principes purement naturels et sans le secours d'aucune idée téléologique. C'est à ce caractère que la théorie de la descendance doit d'être aujourd'hui généralement acceptée (1). » Prétendre, ainsi qu'on l'a fait, que la théorie de la mutation est « une construction nouvelle mise à la place de l'édifice démoli » du darwinisme, ce n'est donc pas seulement forcer l'opinion du savant hollandais, c'est la fausser.

Afin d'éviter tout malentendu, essayons de montrer sur un exemple concret comment, à notre sens, le problème se pose.

Parmi les organes les plus merveilleux des plantes, il faut citer les vrilles, véritables mains végétales, douées d'un toucher souvent très supérieur au nôtre. Grâce à elles, certaines espèces cherchent en tâtonnant, sentent et saisissent les supports situés dans leur voisinage. Tout un ensemble délicat de propriétés concourent à ce résultat. Comme il existe, chez diverses plantes, de ces organes de préhension à des degrés très inégaux de spécialisation et de perfectionnement, on peut concevoir que les vrilles les plus parfaites aient acquis leurs caractères par la conservation répétée, dans la longue suite des temps, de petites mutations fortuites, avantageuses. C'est là proprement le jeu de la sélection naturelle.

Mais ce qui serait un miracle, c'est que, tout à coup,

(1) DE VRIES, *Mutationstheorie*, I, 1901, page 139.

sans préparation et sans antécédents, une vrille accomplie vint à surgir, nouvelle Minerve, chez une espèce qui n'aurait encore parcouru aucune des étapes de cette évolution.

Or, un botaniste allemand distingué, Fr. Noll, a observé il y a quelques années, « l'apparition d'une vrille typique chez une espèce végétale normalement privée de vrilles ». Il s'agit d'un jeune pied d'une sorte de Capucine (*Tropaeolum aduncum*) dont les feuilles avaient leur aspect habituel, sauf la cinquième : celle-ci était remplacée par une petite vrille parfaite, fonctionnant fort bien et tout à fait semblable à celles qui se développent normalement chez une autre espèce du même genre (*Tropaeolum tricolorum*), où Darwin les a décrites.

Noll concluait ainsi : « Sans avoir été formée pas à pas dans la lutte pour l'existence, une structure très perfectionnée naît ici subitement sous nos yeux et elle est d'emblée pareille aux vrilles d'une espèce voisine qui en produit normalement et depuis longtemps (1). » Il semble donc bien que Noll admette ici l'existence d'un « saut » considérable et qui tiendrait du prodige.

De fait, il n'y a là, je pense, qu'une mutation peu étendue. Car il ne faut point oublier que les Capucines, et en particulier le *Tropaeolum aduncum*, ont des feuilles dont les pétioles sont sensibles au contact, s'enroulent autour des supports et offrent déjà — sans doute à la suite d'une longue évolution — toutes les particularités essentielles des vrilles. Pour devenir des vrilles

(1) Fritz Noll, *Ueber das Auftreten einer typischen Ranke an einer sonst rankenlosen Pflanzenart*, (*Sitzungsberichte der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde*, Bonn, 14 janvier 1895).

typiques, il ne leur reste qu'une seule étape à franchir : perdre leur limbe, et c'est ce qui a lieu dans l'exemple cité.

Un tel avortement du limbe n'est rien de très insolite. D'autres vrilles, par exemple chez les Papilionacées du genre *Lathyrus*, doivent aussi être envisagées comme des feuilles dont le limbe s'est perdu.

En résumé, chaque mutation ne fournit à l'espèce qu'un caractère élémentaire, utile, indifférent ou nuisible dans les circonstances où il se manifeste. Pour conserver et accumuler les variations utiles, pour éliminer au contraire les lignées qui présentent les autres, il faut un principe directeur, et nous n'en apercevons qu'un seul : la sélection naturelle, c'est-à-dire la destruction précoce des moins bien adaptés et la survivance des mieux adaptés, par l'effet de la concurrence vitale.

Il serait incroyable que l'œil d'un animal supérieur se fût formé tout d'une pièce. Il est beaucoup plus admissible qu'il se soit développé par perfectionnements minimes dans l'immense série des millions d'animaux que la géologie nous révèle et dont les générations se sont succédé à la surface du globe depuis que la vie y est apparue pour la première fois. Ainsi la bille sphérique et luisante avec laquelle jouent nos enfants dérive d'un caillou informe qui a perdu, une à une, par une longue usure et d'innombrables frottements, toutes ses saillies et toutes ses arêtes... Ou, si nous voulons emprunter au monde inorganique une autre comparaison plus noble, — ne comprenons-nous pas beaucoup mieux la lente genèse des mondes et leur groupement harmonieux, dans l'hypothèse grandiose de Kant et

de LAPLACE, que si nous les regardions comme créés du néant et placés d'emblée de façon à constituer le système planétaire ?

*
* *

Répétons-le une fois de plus : devant les énigmes de l'univers et, surtout, devant les finalités admirables que la nature vivante nous offre à chaque pas, il y a trois attitudes possibles :

La négation : — prétendre qu'il n'y a pas de finalité, mais simplement l'effet du hasard. C'est violenter les faits les plus clairs. C'est la politique de l'autruche qui s'imagine que la difficulté a disparu, parce qu'elle se refuse à la voir ;

L'adoration : — admettre que tout est l'œuvre d'une Intelligence supérieure et omnipotente, et renoncer ainsi délibérément à toute tentative d'explication ; c'est, en d'autres termes, abdiquer ;

Enfin, l'investigation : — rechercher patiemment s'il n'y a pas moyen de rendre compte de ces merveilleuses harmonies, les étudier dans leurs détails afin d'en discerner les facteurs et les causes.

Entre ces trois alternatives : nier, abdiquer ou chercher, la troisième est la seule qui convienne à l'homme de science, la seule qui soit digne d'esprits éclairés et libres.

Et cette attitude qui nous paraît seule compatible avec l'esprit scientifique est respectueuse aussi d'une

foi sincère. Car, revendiquer pour la science, sans nul partage, la totalité de son domaine, ce n'est pas méconnaitre l'existence possible d'un domaine de l'inconnaissable. La sphère chaque jour plus vaste du connu n'en est pas moins plongée dans l'inconnu immense. Libre à ceux qui le veulent de donner asile à la notion d'une Cause première ou d'un Être suprême dans ces régions inexplorables où chacun de nous erre au hasard de ses sentiments, de ses traditions ou de ses désirs.

ŒUVRES POSTHUMES

LES PLANTES VIS-A-VIS DU RESTE DE LA NATURE (1)

Vous connaissez, n'est-ce pas, l'histoire de cette boucle de souliers, grosse de conséquences?

Deux amis se rencontrent :

— « Comment, dit l'un à l'autre, voilà six mois que tu te promènes avec cette boucle brisée à ton soulier ! » (La scène se passe à l'époque où les souliers se portaient avec des boucles).

— « Eh mais ! répond l'autre, c'est que je n'ai pas envie de me ruiner. Si je mets une boucle neuve, mes souliers vont paraître trop vieux : je devrai m'en acheter d'autres. Les souliers neufs m'obligeront à un plus bel habit. Bien vêtu, je ne pourrai plus habiter au quatrième : il me faudra louer un premier. Cela m'entraînera à avoir chevaux et voiture, des domestiques, un grand train de maison et tout ce qui s'en suit, — et comme ma fortune ne me permet pas tout ce luxe, tu vois qu'en achetant une boucle je serais ruiné du coup ! » —

Les conférences que notre Cercle a organisées cet hiver avaient pour but de fournir quelques notions élémentaires de physiologie végétale. Cela, c'est la

(1) Conférence faite par Léo Errera au « Cercle des Jeunes Botanistes de Bruxelles », le 27 avril 1879. — Elle est reproduite textuellement d'après le manuscrit. On s'est contenté d'y intercaler quelques figures pour remplacer les dessins que l'auteur avait faits au tableau.

boucle neuve. Aujourd'hui j'ai à vous montrer à quoi cette boucle neuve doit nous conduire, et comment, de fil en aiguille — ou plutôt de boucle en soulier — ces notions si simples nous mènent aux problèmes les plus élevés, les plus intéressants de la philosophie naturelle; — comment, partis du grain de chlorophylle, nous allons arriver à embrasser d'un regard tout l'ensemble de ce qui vit. — J'espère seulement que notre histoire différera de celle de la boucle en ce que là on en arrivait petit à petit à la ruine, au lieu qu'ici notre étude ne peut rien ruiner, sinon quelques idées fausses ou quelques préjugés.

L'aspect d'un organisme vivant fait naître en nous plusieurs sortes de questions, auxquelles correspondent autant d'ordres de recherches scientifiques. Essayons d'en dresser la liste. Il y a le point de vue statique, et le point de vue dynamique; l'un étudie le mécanisme au repos, l'autre en étudie le mouvement. Supposons pour un instant que l'univers entier s'arrête : les recherches statiques que l'être vivant provoque n'en subsistent pas moins; nous pouvons toujours examiner la forme et la disposition de ses organes : c'est la morphologie; leur structure : c'est l'anatomie, c'est l'histologie; leur composition élémentaire, c'est l'analyse chimique. Nous pouvons encore nous demander quelle est sa place dans le système, quand on le compare aux autres êtres : c'est la classification, c'est l'anatomie comparée, etc. Enfin, nous pouvons étudier sa dispersion dans l'espace et dans le temps : c'est la géographie des êtres et la paléontologie. L'examen statique nous fait reconnaître chez les

organismes des unités de divers ordres : molécule, cellule, tissu, organe, individu, espèce. Le point de vue dynamique consiste à scruter les réactions réciproques de ces unités : réactions moléculaires, réactions cellulaires, réactions histologiques, réactions des individus les uns sur les autres et réactions mutuelles des espèces. Au point de vue dynamique, nous ne considérons donc plus un état déterminé, mais bien la succession des états, et le point de vue dynamique comprend ainsi la genèse et la physiologie. Il y a la genèse de l'individu pris isolément, c'est l'ontogenèse ; — il y a aussi pour le transformisme la genèse de l'espèce, c'est la phylogenèse. Il y a de même la physiologie de l'individu, qui est la physiologie proprement dite, et la physiologie de l'espèce, qui est la sociologie.

— Ici je voudrais mettre en relief un côté de la question, qui a peut-être le mérite de la nouveauté. Il me semble qu'à certains égards, la physiologie et la sociologie sont en petit ce que l'ontogenèse et la phylogenèse sont en plus grand. Je m'explique. Prenons la nutrition pour exemple : la physiologie saisit l'aliment depuis son entrée dans l'organisme — animal ou végétal —, en suit pas à pas les diverses modifications et nous le montre transporté, assimilé, utilisé pour former de nouvelles cellules. Puis elle nous fait voir que les cellules se brûlent, s'usent, s'éliminent, et que de nouveaux aliments doivent venir les reformer, pour être éliminés à leur tour. Et ainsi de suite dans un cycle continu. Mais si l'usure égalait toujours l'apport nutritif, le bilan de l'organisme se solderait après chaque cycle sans profit, ni perte; et nous n'aurions ni accroissement ni décrépitude. Or, en réalité, il y a toujours boni ou

mali, de telle sorte que, vu de loin, considéré seulement dans son résultat, le cycle ne parait plus qu'un accroissement ou une diminution par rapport à l'état antérieur.

L'accroissement fait progresser l'organisme de l'ovule à l'âge adulte ; la décroissance le fait déchoir de l'âge adulte à la vieillesse et à la mort. La genèse de l'individu, l'ontogenèse, étudie précisément la succession de ces accroissements et de ces décroissances. L'ontogenèse nous indique ainsi la série des étapes de l'organisme *ab ovo*. Elle nous dit : « Ici des cellules se multiplient, là des organes nouveaux se forment, là-bas des organes se métamorphosent ou disparaissent. » Mais nous pouvons aller plus avant ; nous pouvons prendre l'une quelconque de ces étapes, la subdiviser, comme je le disais tantôt, en analyser un à un tous les phénomènes (d'assimilation et de désassimilation) ; — nous pouvons nous demander d'où viennent les matériaux de ces édifices cellulaires et où vont leurs décombres, quelles forces les bâtissent et quelles influences les détruisent : c'est le domaine de la physiologie. — Permettez-moi une comparaison. Si nous représentons la vie d'un être par une courbe, l'ontogenèse étudiera la succession des points qui composent cette courbe. La physiologie, elle, va plus loin. Ce que vous prenez pour des points, nous dit-elle, n'en sont pas. Chacun de ces prétendus points est lui-même une courbe et je vais étudier la suite des éléments ultimes qui composent chaque fois un de vos points apparents. La physiologie décompose ainsi en périodes plus petites la grande période que l'ontogenèse décrit pour chaque être, ou, si l'on veut, l'ontogenèse ne s'occupe que du résultat d'ensemble de chacun des petits cycles physiologiques. — Et le même rapport

qu'il y a entre la physiologie de l'individu et sa genèse, existe aussi entre la physiologie de l'espèce (qui est la sociologie) et la genèse de l'espèce (qui est la phylogénie). La phylogénie tâche de découvrir la série des points qui forme la courbe de l'espèce, comme l'ontogenèse reconstitue la courbe de l'individu; puis la sociologie vient, comme tantôt la physiologie, décomposer ces points pour rechercher à chaque instant les réactions des divers êtres les uns sur les autres et leurs échanges de services.

La physiologie pourrait se diviser en physiologie interne qui s'occupe du fonctionnement des cellules, des tissus, des systèmes, des organes et de l'individu tout entier considéré en lui-même, et en physiologie externe qui recherche l'influence que des conditions étrangères à l'individu exercent sur ses fonctions.

Cette physiologie externe confine à la sociologie. La sociologie peut, elle aussi, être interne — lorsqu'elle se borne à étudier les phénomènes qui résultent du choc des individus de la même espèce — ou externe — lorsqu'elle étudie, au contraire, les relations entre espèces différentes.

Si vous avez bien voulu me suivre jusqu'ici, j'espère, Messieurs, que vous n'allez pas m'abandonner en ce moment décisif et que vous n'allez pas vous récrier si je dis que la conférence de ce soir a pour sujet la sociologie végétale. Eh oui! il y a une sociologie végétale, puisqu'il y a des relations, souvent très complexes, soit entre plantes de même espèce, soit entre telles plantes et le reste de la nature.

La sociologie interne, celle qui traite des rapports

entre végétaux de même espèce, se résume ici, comme partout, en deux phénomènes primordiaux : concurrence vitale dont la résultante est la survivance des plus aptes, et concurrence sexuelle dont la résultante est la perpétuation des plus aptes.

La sociologie externe est beaucoup moins simple. Les plantes d'une espèce peuvent se servir des plantes

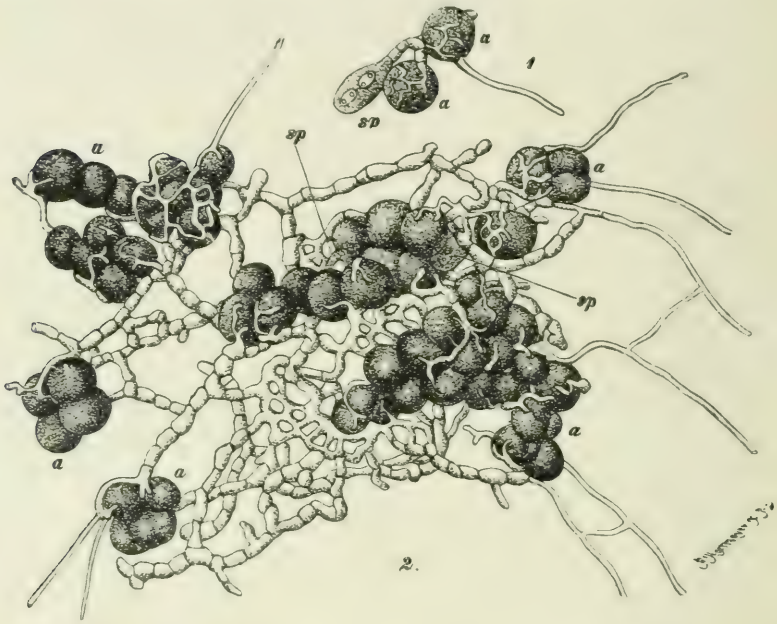


FIGURE 1. — Structure d'un lichen (*Xanthoria*) d'après BONNIER.
Copié dans VON TAHL : *Pl. c.*

d'une autre espèce soit pour s'y accrocher seulement, comme les plantes grimpantes, soit pour se nourrir à leurs dépens, comme les plantes parasites. Vous savez combien le parasitisme est fréquent dans la nature — sans en excepter le règne humain de DE QUATREFAGES. L'un des grands groupes de végétaux, celui des Cham-

pignons, renferme précisément beaucoup de parasites. Mais, à côté d'eux, il y a aussi de nombreux Champignons qui vivent des déchets des autres organismes. Et, chose plus curieuse, certains Champignons con-

FIGURE 2. — Structure d'un lichen (*Collema*) d'après E. STAHL. (Copié sur une planche murale de KNY).

tractent avec des cellules étrangères une union des plus intimes, et forment ainsi une véritable mutualité, une société à bénéfice réciproque où chacun des associés a sa part de droits et de devoirs. On sait en effet, de façon certaine, qu'un lichen (figures 1 et 2) n'est pas autre chose qu'un être dualiste constitué par des filaments d'un Champignon, étroitement unis à des cellules vertes, appartenant soit à une Algue, soit à un organisme analogue.

*
* *

Vis-à-vis des animaux et de l'Homme, les relations des plantes sont infiniment variées. Je ne vous parlerai pas des usages auxquels elles nous servent : nos aliments et nos liqueurs, nos vins et nos bières, nos tissus et nos meubles, nos remèdes et nos poisons ne nous viennent-ils pas la plupart du règne végétal? Du haut en bas de la société, la plante joue son rôle : elle fournit à l'un la soupe aux oignons, à l'autre la poudre de riz et les parfums. Elle donne à l'Irlandais la pomme de terre, au Français la salade, à l'Allemand la choucroute, au Chinois le riz, à tous le pain. N'est-ce pas au règne végétal que nous devons l'une des gloires les plus pures et les plus incontestées de Bruxelles, les « spruitjes » ? Et les jardins, quelle place ils occupent dans notre vie, et sous quelles formes multiples ils nous apparaissent, depuis le pot de fleur posé sur la tablette de la fenêtre, qui vient seul égayer la mansarde étouffée, jusqu'au parc de Versailles, aux pelouses de Richmond, aux serres de Gand ? Et le bouquet ? Quelle est la circonstance de la vie où il ne trouve sa place; naissance ou mort, joie ou deuil? C'est du bouquet que Lamartine aurait dû dire qu'on ne

peut ni naître, ni mourir, ni se marier sans lui! Qui de nous n'a déjà senti ses pulsations se presser, ses systoles et ses diastoles se succéder plus rapides lorsqu'il offrait quelques fleurs? — Mais tout cela sont choses trop connues pour que nous allions nous attarder sur ce vieux thème à variations. — Quant aux forêts, leur influence est considérable. Mais elle est peut-être encore plus immense que la plupart ne se le figurent. Sans parler de leur action sur la composition de l'air à laquelle j'aurai à revenir tantôt, les forêts égalisent la température et retiennent autour d'elles, dans le sol et dans l'atmosphère, des quantités considérables d'eau : elles sont par là un obstacle efficace aux inondations. Les forêts d'arbres à feuilles caduques interceptent 37 % de l'eau qui s'écoule sur les parties plus basses qu'ils protègent, et les forêts de Conifères 55 %. On ne devrait donc jamais déboiser sans motifs bien sérieux.

Mais, dans tous les faits que je viens de citer, nous n'avons considéré que la façon dont les plantes nous sont utiles ou nuisibles. Ce point de vue était le seul auquel on se plaçait jadis et, pourtant, je n'ai pas besoin de vous dire combien ce point de vue est étroit et exclusif. On regardait jadis l'Homme comme le centre de la nature, de même que l'on avait considéré auparavant la Terre comme le centre du monde. Nous examinerons tantôt la manière dont il faut interpréter tous ces faits. Pour le moment, je dois encore citer quelques exemples d'adaptation mutuelle entre le règne végétal et le règne animal.

Lorsque deux mécanismes s'engrènent l'un à l'autre, on dit qu'il y a adaptation. C'est vis-à-vis des Insectes que les plantes présentent les coadaptations les plus remarquables. Vous savez que quelques plantes sont

fécondées par l'intermédiaire du vent, d'autres — et c'est la majorité — par l'intermédiaire de différents animaux, Oiseaux (figure 3) ou Insectes (figure 4). Il

FIGURE 3. — *Docimastes ensiter* (Colibri) pollinant une Bignoniacée. (D'après BREHM.)

est un détail que je ne veux pas manquer de rappeler, parce qu'il a le don de faire naître toujours une douce hilarité : c'est que certaines espèces sont fécondées par des Limaces qui transportent le pollen en rampant à

la surface des inflorescences. Du reste, j'ai encore mieux que cela à vous offrir : on prétend qu'une fleur d'Australie est fécondée par l'intermédiaire des Kangourous!

FIGURE 4. — Fleur de *Lilium Martagon* visitée par un *Macroglossa stellatarum*. D'après DODEL-PORT.)

Mais restons-en aux Insectes. Ils vont chercher tout ingénument du pollen et du nectar, et voilà que la structure des fleurs les force, malgré eux, à jouer un

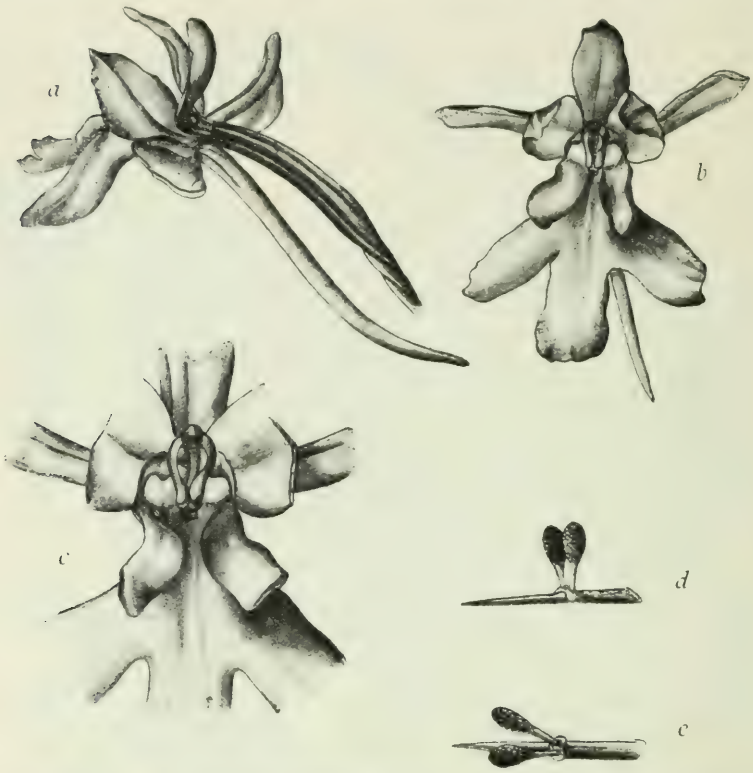


FIGURE 5. — *a*. Fleur d'*Anacamptis pyramidalis*, vue de profil. Inferieurement, à droite, sous le long ovaire tordu, l'éperon nectarifère. — *b*) La même fleur vue de face. La pointe effilée de l'éperon apparait entre deux découpures du labelle. — *c*) La portion centrale de la fleur *b* agrandie. — *d*, *e*) Les pollinies fixées sur une épingle que l'on a introduite dans le nectaire, *d*) au moment où l'on retire l'épingle, *e*) après quelques minutes : les pollinies ont divergé et se sont inclinées en avant.

rôle... d'agence matrimoniale. Tout ce luxe de couleurs, de parfums, de mets exquis que la fleur déploie (figure 5), ce n'est à coup sûr ni pour les beaux yeux,

ni pour le joli nez, ni pour le palais délicat des Insectes : car bien souvent les plantes n'allèchent les Insectes que pour les tromper ou même pour les manger, comme on le voit dans les plantes carnivores. Si donc les fleurs attirent tout un monde d'Abeilles et de Mouches, c'est que ces hôtes transportent involontairement le pollen aux stigmates et effectuent le croisement entre fleurs différentes de la même espèce. Je ne citerai qu'un seul exemple : c'est une petite Orchidée, rare en Belgique, l'*Anacamptis pyramidalis*.

[Les fleurs, groupées en une grappe très dense, ont une teinte rose carminé et une odeur suave qui leur assurent la visite d'un nombre considérable de Papillons diurnes et nocturnes. Ils y trouvent d'ailleurs un nectar abondant sécrété dans un éperon si long et si étroit qu'il n'est accessible que pour la trompe longue et mince d'un Papillon. Cet éperon est un prolongement du labelle, la pièce la plus grande et la plus découpée de la corolle. Au centre de la fleur se trouvent les organes reproducteurs : les deux anthères renfermant chacune une masse de grains de pollen agglutinés, portée sur un petit axe qu'on appelle caudicule. Les deux caudicules sont fixés sur un rétinacle qui a la forme d'une petite selle et qui est enfermé dans une bursicule remplie d'un liquide visqueux. Deux surfaces stigmatiques s'étalent l'une à droite, l'autre à gauche de la région basilaire des anthères. La bursicule couvre en partie l'ouverture de l'éperon. Le labelle porte deux appendices ménageant entre eux une sorte de vestibule qui va se rétrécissant et qui mène exactement vers l'entrée de l'éperon.

Qu'un Papillon, attiré par la couleur et le parfum de la fleur, veuille y sucer le nectar, il cherchera à faire pénétrer sa trompe dans le long nectaire, les deux

crêtes du labelle l'obligeront à l'y faire entrer en ligne droite et juste au milieu, il touchera ainsi la bursicule dont la membrane s'ouvrira; le rétinacle en forme de selle s'appliquera sur la trompe en s'y enroulant, y adhérera grâce au liquide visqueux qui le recouvre et, lorsque le Papillon se retirera après avoir puisé le

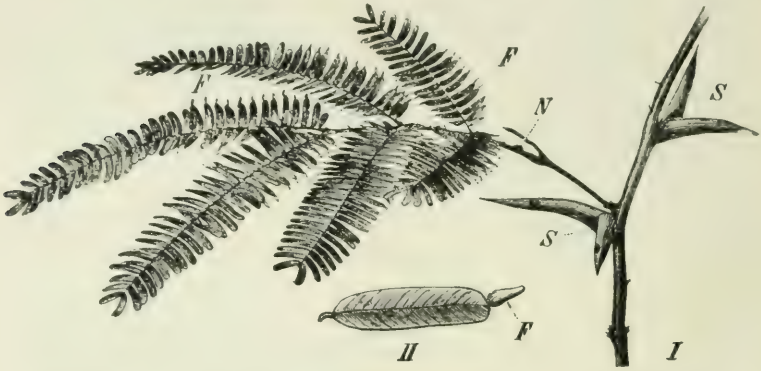


FIGURE 6. — *I*. Rameau d'*Acacia sphaerocephala*. — *S*, Épines creuses. — *F*, feuilles avec *N*, nectaires. — *II*. Foliole plus grossie. — *F*, corpuscule alimentaire.

nectar, il entraînera leur deux pollinies fixées par leurs caudicules sur le rétinacle. Nous pouvons réaliser l'expérience en remplaçant la trompe du Papillon par une épingle (figure 5 : *d, e*). Aussitôt à l'air, les deux pollinies d'abord dressées et parallèles (*d*), divergent en même temps qu'elles s'inclinent en avant (*e*). C'est un phénomène hygroscopique qui provoque ces mouvements. Quand le Papillon visitera un autre *Anacamptis* et enfoncera sa trompe dans le nectaire de la fleur, les deux masses polliniques, inclinées et divergentes heurteront infailliblement les deux surfaces stigmatiques. Celles-ci étant visqueuses, des grains de pollen y resteront collés lorsque le Papillon quittera cette seconde fleur. Il aura effectué ainsi la fécondation

FIGURE 7. — Pollination de *Yucca Whipplei* (1 à 5) et de *Ficus* (6 à 17).

1. Partie de l'inflorescence de *Yucca*. — 2. Une fleur dont on a enlevé trois pétales pour montrer le Lépidoptère (*Pronuba Yuccasella*) apportant du pollen sur le stigmate — 3. Stigmate — 4. *Pronuba* volant. — 5. Tête de *Pronuba*; une pelote de pollen est maintenue sous l'appareil buccal. — 6. Rameau et inflorescence de *Ficus pumila*; l'inflorescence est coupée longitudinalement. — 7. Une fleur femelle, provenant du fond de l'inflorescence. — 8 et 9. Étamines venant de l'ouverture de l'inflorescence. — 10. Inflorescence du Figuier commun (*Ficus Carica*); elle contient de nombreuses galles produites par un Hyménoptère (*Blastophaga grossorum*). — 11. Inflorescence encore jeune; près de l'ouverture deux *Blastophaga*, dont l'un y a déjà pénétré. — 12. Fleur mâle. — 13. Fleur femelle à long style. — 14. Fleur femelle à style court. — 15. *Blastophaga* sortant d'une galle formée aux dépens d'une fleur femelle. — 16. *Blastophaga*, volant. — 17. Le même, grossi.

(Les figures 1, 2, 4, 6, 10, 11, 16 sont en grandeur naturelle. La figure 3 est grossie deux fois; la figure 5, vingt fois; les figures 7, 8, 9, 12, 13 sont grossies cinq fois; les figures 14, 15, 17 sont grossies huit fois.)

(D'après KERNER.)

d'une fleur d'*Anacamptis* par du pollen d'une autre fleur de même espèce (1).]

On n'en finirait pas si l'on voulait énumérer toutes les adaptations des plantes aux Insectes. Parfois les plantes attirent certains Insectes non pas pour être fécondées par leur intermédiaire, non pas pour les manger, mais bien pour s'en faire des gardes du corps. Ne riez pas ! La chose a été parfaitement observée par BELT, pour un *Acacia* du Sud de l'Amérique (figure 6). A la base de chaque feuille, il y a deux épines creuses dans lesquelles se logent des Fourmis. Celles-ci se nourrissent du liquide sucré sécrété par les nectaires que portent les feuilles et aussi des corpuscules alimentaires qui terminent beaucoup de folioles. Pendant qu'elles rôdent ainsi sur la plante, les Fourmis la défendent contre une autre sorte de Fourmis qui essaient de venir enlever des portions de feuilles. — Nous voyons donc la plante livrer aux Insectes du nectar, du pollen ou d'autres substances, parce que cette dépense de sa part est amplement compensée par la fécondation allogamique ou par la protection que les Insectes lui assurent. Cela peut aller si loin que les Figuiers et les Yuccas, par exemple, abandonnent toujours une partie de leurs ovules à la voracité des Insectes qui les fécondent (figure 7).

Comme le croisement produit des individus plus robustes que l'autogamie, il est clair que toute particularité favorable au croisement procurera une chance de survie; et comme l'hérédité fixe peu à peu les variations nouvelles, quelque petites qu'elles soient,

1. Cette explication, laissée en blanc dans le manuscrit, a été obligeamment complétée par Mme SCHOUTEDEN-WERY.

on comprend que toutes ces particularités favorables au croisement s'accumulent peu à peu. Mais comme les Insectes sont, au moins dans nos climats, les agents principaux du croisement, on voit que toute modification qui attire les Insectes sera avantageuse à la plante et tendra à se perpétuer. Par cette voie indirecte, il est clair que la structure, les couleurs, les parfums des fleurs dépendent essentiellement de la forme, des préférences, des goûts esthétiques des Insectes fécondateurs.

Réciproquement, les plantes peuvent aussi être les causes indirectes d'une foule de caractères des Insectes. En allant chercher au fond des corolles du nectar souvent caché, les Insectes doivent évidemment déployer de l'ingéniosité et les imbéciles risquent fort de mourir de faim. — Les Guêpes Fouisseuses qui sont vraisemblablement les ancêtres des Abeilles, visitent beaucoup moins les fleurs que celles-ci et sont aussi beaucoup moins intelligentes.

* * *

Souvent la coloration des Insectes est en relation avec celle des plantes. Sans entrer dans les détails de cette question assez compliquée, je veux me borner à vous citer les chenilles. Si l'on étudie la couleur des chenilles, on trouve trois faits curieux : c'est que 1° beaucoup de chenilles très jeunes sont vertes; — 2° plus tard, elles subissent une série de mues : tout d'abord on voit paraître des lignes blanches longitudinales sur leur fond vert; puis à ces lignes longitudinales s'en ajoutent de diagonales; — 3° aux lignes blanches viennent se joindre enfin d'autres teintes, telles que des stries pourprées ou brunes, des taches circulaires, etc. —

Les chenilles vivent d'ordinaire sur les feuilles. Elles sont fort exposées à être mangées par les Oiseaux : de toutes les variétés de couleurs que les chenilles présentent, il est clair que les vertes sont celles qui échapperont le mieux à leurs ennemis : aussi les vertes survivent-elles aux autres, et cette

FIGURE 8. — *Venilia macularia* sur une feuille de Bouleau. (D'après F. PLATEAU.)

teinte tend à se fixer. C'est la couleur des chenilles jeunes. Mais bientôt la chenille croît ; sa forme la trahirait. Pour vous poser la question que Sir J. LUBBOCK adressait à son auditoire à Glasgow : Que feriez-vous si vous étiez une grosse chenille verte? Mais évidemment vous chercheriez à ressembler de plus en plus aux feuilles que vous habiteriez, afin d'être moins facilement aperçus. Ainsi font les chenilles; leurs lignes blanches, les unes longitudinales, les autres diagonales ressemblent à s'y méprendre à des nervures

de feuilles se coupant sous différents angles. Je n'ai pas besoin de dire que les chenilles ne se créent pas ce coloris à volonté : il s'est fixé et accentué par la

FIGURE 9. — *Kallima paralecta*, posé sur une branche qui porte une feuille morte. (D'après F. PLATEAU.)

survivance de ceux qui présentaient des variations accidentelles qui les faisaient ressembler davantage aux feuilles et les dérobaient mieux aux Oiseaux. Enfin, les chenilles toutes développées ont souvent

des raies foncées qui simulent l'ombre des nervures, ou des taches de couleur qui singent les fleurs ou les fruits de la plante qu'elles habitent. — Il y a même,

FIGURE 10.— Deux chenilles arpenteuses. L'inférieure est en train de ramper. La supérieure, attachée par les pattes postérieures, s'est raidie et ressemble à une brindille.

vous le savez, certains Insectes dont la forme simule à s'y méprendre un rameau de bois mort ou bien des feuilles mortes (figures 8, 9 et 10).

*
* *

Si nous supposions que, par impossible, les plantes disparussent du globe, un grand nombre d'Insectes mourraient de faim, d'autres survivraient en s'adap-

tant à un autre mode de vie, comme celui des Ichneumons, des Cousins, des Mouches qui hantent les corps putréfiés ; et il est bien certain que la

FIGURE 11. — *Pringlea antiscorbutica* (le Chou de Kerguélen) : Crucifère dont les fleurs sont privées de pétales.

suppression des végétaux entraînerait fatalement une modification progressive de toute la structure et de la coloration des Insectes. Et réciproquement, avez-vous jamais pensé au bouleversement dans le monde floral que la disparition des Insectes amènerait ? Plus de parfums, plus de nectar, plus de coloris brillant, plus

de structures compliquées : les seules plantes qui survivraient seraient celles qui deviendraient cléistogames — c'est-à-dire à fleurs toujours closes — ou anémophiles — c'est-à-dire fécondées par le vent. Triste flore que celle qui n'aurait pas d'Insectes ailés ! Elle n'offrirait plus rien de ce que nous admirons le plus chez les plantes et toutes ses fleurs seraient inodores et ternes comme les Graminées ou les Conifères. Ce n'est point là une théorie en l'air : la Terre de Kerguélen, qui n'a pas d'Insectes ailés, présente aussi une flore monotone, privée de senteurs et de corolles brillantes (figure 11).

Je n'insiste pas, car j'ai hâte d'arriver au dernier point, le plus important, de ma conférence. L'air est composé de 4/5 d'azote et de 1/5 d'oxygène, plus quelques dix-millièmes d'anhydride carbonique, qui est, comme chacun sait, le résultat de l'oxydation, de la combustion du carbone.

Pour 3 grammes de carbone que nous brûlons, l'air cède 8 grammes d'oxygène et il se forme 11 grammes de CO^2. Je n'ai pas besoin de vous dire que c'est par millions et millions de grammes que le charbon se brûle à chaque instant; c'est aussi par millions de grammes, par conséquent, que l'air est constamment appauvri en oxygène et enrichi en anhydride carbonique.

Chaque volcan qui gronde, chaque foyer qui flambe, chaque fabrique qui travaille, chaque machine à vapeur qui fonctionne et chaque cigare que l'on fume émettent à flots pressés l'anhydride carbonique. Nous ne pouvons pas produire un rayon de chaleur ou de lumière sans consommer directement ou indirectement du carbone et de l'oxygène pour en faire de l'anhydride carbonique. Et ce ne sont pas là

les seules combustions. Tout acte vital se résume en un dégagement de force ; cette force est mise en liberté par la combinaison de l'oxygène avec l'hydrogène et le carbone des tissus organisés. Tout acte vital est en réalité un phénomène de mort : il résulte de la destruction, de la combustion d'une masse plus ou moins grande de protoplasme. Ce sang qui vient donner une rougeur charmante à des joues de jeune fille, il n'est échauffé que parce que de la matière vivante a été oxydée, brûlée, au fin fond des cellules ; ce muscle qui se contracte, il tire sa force des oxydations qui se sont produites, des acides qui se sont formés dans ses fibres ; ce cerveau qui pense, il ne peut fonctionner qu'en brûlant des albuminoïdes. — Et quels sont les produits derniers de toutes ces combustions ? De l'ammoniaque, de l'eau, et surtout de l'anhydride carbonique. Qu'il s'agisse du nuage de fumée qui s'échappe de nos cheminées, de la bouffée d'air qui sort de nos poumons, ou de la moindre manifestation vitale chez un animal ou chez une plante, nous retrouvons toujours une absorption d'oxygène, une émission d'anhydride carbonique.

Telle est cependant l'immensité de notre atmosphère qu'un siècle de toutes ces combustions en modifierait à peine la teneur en anhydride carbonique ; mais les siècles sont des gouttes d'eau dans le torrent des âges, et petit à petit la provision d'oxygène n'en finirait pas moins par être remplacée par de l'anhydride carbonique. Ce gaz est, vous le savez, irrespirable et asphyxiant. Lui qui se forme partout et avec une extrême facilité, va-t-il au moins pouvoir se décomposer avec une facilité égale ? Point du tout !... Il faut pour remettre en liberté l'oxygène et le carbone toutes les ressources des laboratoires de physique et de chimie.

Mais ce ne sont pas ces réactions violentes qui pourront jamais détruire efficacement l'anhydride carbonique pour réoxygéner l'atmosphère. Où donc est-il ce laboratoire gigantesque détruisant cette substance que tout s'acharne à produire; où est cette force immense pouvant vaincre l'attraction puissante qui soude le carbone à l'oxygène? Où elle est? Elle est dans le rayon de soleil qui vient frapper une plastide chlorophyllienne microscopique.

Partout dans la nature nous ne voyons que combustions. Cette terre elle-même, comme le dit Cooke, n'est qu'un monceau de cendres : les carbonates, les phosphates, la silice ne sont-ils pas, en effet, des corps au maximum d'oxydation, des corps brûlés? Et pour résister à ce flot montant d'oxydations, il n'y a dans la nature entière qu'un seul phénomène : la décomposition de l'anhydride carbonique dans les cellules vertes, sous l'influence de la lumière; là, par un mécanisme à peine encore entrevu, la force vive des rayons solaires agissant sur la chlorophylle arrive à vaincre l'affinité du carbone et de l'hydrogène pour l'oxygène; l'anhydride carbonique et l'eau sont décomposés, le carbone et l'hydrogène restent fixés dans les tissus de la plante, l'oxygène est rendu à l'atmosphère.

On a souvent dit que la science tue la poésie. Je ne crois pourtant pas que jamais conception de poète se soit élevée à cette simplicité grandiose du cycle éternel que parcourt le carbone et que la science démontre avec la rigueur la plus absolue. Les plantes l'empruntent à l'anhydride carbonique de l'atmosphère, elles le fixent dans leurs tissus, en font de l'amidon, du sucre, des albuminoïdes. Les herbivores mangent ces plantes et s'assimilent à leur tour ce carbone. Les carnassiers

mangent les herbivores et, petit à petit, tout le carbone se trouve restitué à l'atmosphère sous forme d'anhydride carbonique pour recommencer son cercle de métamorphoses.

Et qu'est-ce qu'une plastide chlorophyllienne ? Une petite masse de protoplasme colorée en vert, qui n'a souvent pas 1/100 de millimètre de diamètre et dont il peut entrer près d'un million dans un millimètre cube. Et cependant c'est la somme des effets de tous ces grains infiniment petits qui détruit les masses énormes d'anhydride carbonique au fur et à mesure de leur production, de la même manière que l'amoncellement des Diatomées microscopiques constitue les assises géologiques les plus puissantes, de la même manière que le travail des Polypes imperceptibles édifie des îles, de la même manière que l'accumulation des phénomènes élémentaires ou des variations minimes explique la formation de la croûte terrestre et la genèse des espèces.

Si l'on va au fond des choses, on s'aperçoit qu'en dernière analyse la plastide verte, comme elle est le seul réducteur efficace, le seul producteur de tout combustible, est aussi le seul point de la nature où se fasse de la synthèse organique totale. De cette manière on voit bien quelle dépendance réciproque étroite lie l'un à l'autre les deux règnes organiques : la plastide verte est le seul corpuscule vivant qui puisse se suffire à lui-même; tout le reste du monde n'est que parasites vivant à ses dépens. Elle-même, du reste, tire sa force du soleil.

Perpétuellement, l'anhydride carbonique tend à encombrer l'atmosphère. Mais les squares, les jardins, les forêts sont les poumons où pendant le jour l'atmosphère s'hématose, échangeant son anhydride carbo-

nique pour de l'oxygène; — les courants aériens sont sa circulation; et, moteur unique de tous ces mouvements, le soleil en est le cœur (1).

Le fait essentiel qui ressort donc de l'étude comparée des deux règnes, c'est que malgré l'existence de phénomènes analogues chez tous deux, ceux qui dominent dans l'un sont à l'arrière-plan dans l'autre. Sans doute, les plantes respirent comme les animaux et forment par là de l'anhydride carbonique; sans doute aussi, il y a des phénomènes de réduction chez les animaux, la transformation des hydrates de carbone en graisses, par exemple. Mais il n'en est pas moins vrai qu'en additionnant tous les phénomènes chimiques de la plante et tous ceux de l'animal on trouve que les résultantes sont inverses : les sommes algébriques des réactions chimiques dans les deux règnes sont de signes contraires : oxydation et destruction de matière organique d'une part; réduction et synthèse organique de l'autre.

Messieurs, j'abuse de votre attention; il me reste à conclure.

Dans cette conférence, nous avons examiné un certain nombre de coadaptations entre les végétaux et les animaux. Nous avons vu que la fécondation des plantes a besoin des Insectes et que, directement ou indirectement, tous les animaux tirent leur nourriture du règne végétal. La vie des animaux serait absolument impossible si les végétaux ne s'assimilaient et ne détruisaient constamment l'excès d'anhydride carbonique que les animaux dégagent et ne reformaient sans

(1) « Lebendiges Ganze » de DE HUMBOLDT.

cesse de la matière organique que ceux-ci pourront assimiler et détruire.

Ici se présente une question très sérieuse, et c'est le terme de notre causerie. A quoi est due cette harmonie merveilleuse entre les deux règnes? Il n'y a que deux hypothèses possibles : ou bien cette harmonie est l'effet d'une force extérieure au monde, ou bien elle résulte des forces mêmes de la nature. — Je ne le cache pas, la première idée qui se présente à l'esprit et celle qui semble à première vue tout expliquer, est celle d'une volonté extérieure au monde et qui régit le monde, que cette volonté se nomme Dieu personnel, Volonté inconsciente, ou plus timidement Loi de développement. Mais si l'on y regarde de plus près, cette hypothèse n'explique rien et n'est pas admissible. Elle n'explique rien, car cette Volonté directrice est par définition incompréhensible. Elle n'est pas admissible, car la nature ne nous révèle pas un plan unique, sage, prévoyant, comme beaucoup de personnes le pensent et comme cette hypothèse l'exigerait. En effet, si la nature était régie par une Loi semblable, nous verrions le développement de l'organisation suivre une marche unie, ce qui n'est pas; — et nous ne verrions point l'évolution des êtres revenir sur ses pas comme on l'observe dans les adaptations régressives : par exemple, lorsque des êtres d'un groupe élevé s'adaptent à la vie parasitaire et retombent à un degré d'organisation bien plus bas que celui de leurs ascendants, bien plus bas que celui qu'ils présentaient souvent eux-mêmes à l'état larvaire. Nous ne verrions pas non plus des fleurs adaptées à la pollination par les Insectes, retomber au stade de fleurs pollinées par le vent, comme c'est le cas pour le Chou de Kerguélen (figure 11).

Si la nature était régie par cette Loi providentielle,

nous ne verrions pas d'organes inutiles, de structures imparfaites, rudimentaires, souvent même nuisibles, comme on en rencontre à chaque pas, l'appendice vermiforme de notre intestin, par exemple. Enfin et surtout, si la nature était régie par une Loi providentielle, les relations d'un être vis-à-vis d'un autre ne seraient pas, comme elles le sont souvent, fatales à l'un ou à l'autre : jamais des Insectes ne troueraient les corolles; aucune plante ne mangerait des animaux.

En effet, la notion de Volonté providentielle exige que les êtres se rendent service pour se rendre service, ce qui n'arrive jamais : c'est toujours l'égoïsme qui domine toute la nature. Si les plantes offrent du nectar aux Insectes, c'est que les Insectes servent à la fécondation; si l'Acacia héberge des Fourmis, c'est que ces Fourmis le protègent contre d'autres Fourmis.

Rien ne nous oblige donc à admettre l'hypothèse d'une Volonté extérieure et supérieure au monde. Nous n'en avons pas besoin pour comprendre les adaptations, l'harmonie, le Kosmos. De même que le roulement des caillous dans le tonneau finit par émousser leurs angles et par les faire s'arranger avec ordre, de même le long frottement réciproque des êtres amène leur harmonie, par suite de l'élimination fatale de tous ceux qui troubleraient l'ordre. Mais, ici comme là-bas, le tassement ne peut s'opérer sans que de temps en temps il y ait un grincement des caillous qui se frottent : ces grincements, ces discordances qui existent dans la nature, l'hypothèse providentielle ne saurait en rendre compte. — Et voyez comme cette notion est profondément philosophique et morale : l'arrangement du monde est harmonieux dans son ensemble, parce que toute combinaison non harmonieuse porte en elle

son germe de destruction. De même, le système solaire marche avec une régularité parfaite, parce que seuls les systèmes qui marchent ainsi peuvent subsister : les autres ne tardent pas à disparaître. Qui sait si certaines nébuleuses ne sont pas des systèmes avortés, alors que d'autres sont des embryons de systèmes?

Voilà pourquoi aussi le règne végétal et le règne animal se coadaptent et se complètent l'un l'autre : car s'ils ne s'engrenaient pas ainsi, ils ne pourraient subsister; — tant que l'harmonie n'a pas existé entre eux, ils étaient condamnés d'avance à mort. A ce point de vue, on peut dire que les deux règnes devaient être complémentaires et adaptés comme ils le sont, ou ne pas être. *Sint ut sunt, aut non sint.*

Tels sont les enseignements qui me paraissent se déduire de la plastide chlorophyllienne.

CE QU'IL Y A DANS UNE PLANTE (1)

Tout le monde sait de quoi une plante se compose : une partie souterraine et une partie aérienne, c'est-à-dire un système des racines et un ensemble de tiges, de feuilles et de fleurs que nous pouvons réunir sous le nom de système des bourgeons.

Loin d'être inerte et passif, tout cela vit, travaille comme les organes d'une machine délicate et accomplit certaines fonctions au profit de la plante entière. C'est cette vie que nous allons épier ensemble, ce sont ces fonctions que nous chercherons à analyser et à comprendre.

Nous commencerons par l'étude de la nutrition.

Une graine germe; la jeune plante grandit, forme des rameaux, des feuilles, des fleurs et de nouvelles graines: il faut évidemment qu'elle prenne quelque part les substances qui constituent tous ces organes. Elle ne saurait les fabriquer avec rien. Une certaine quantité de matière se trouve déjà dans la graine au moment où elle tombe sur le sol. Il est naturel de penser que les premiers organes qui se développent se forment au moyen de cette réserve, véritable dot que la graine emporte avec elle en quittant la plante-mère. Mais cela ne saurait suffire pendant longtemps, et personne sans doute ne se figure que les milliers et les milliers de kilo-

(1) Cette leçon, la première du Cours public de la ville de Bruxelles, donnée le 28 octobre 1889, est reproduite textuellement d'après le manuscrit de l'auteur.

grammes que pèse un grand Chêne se trouvaient déjà dans le gland de quelques grammes dont il provient. Un gramme reste un gramme ; les plantes, pas plus que nous, ne pourront jamais en faire ni plus ni moins d'un gramme. Nous arrivons ainsi à cette première conclusion : pour se développer, les plantes, comme les animaux, doivent recevoir de l'extérieur certaines substances qui leur sont nécessaires; en un mot : se nourrir. La nutrition est, en effet, cet ensemble de fonctions par lesquelles les êtres vivants prennent du dehors des aliments qu'ils transforment en leur propre substance, et rejettent, en revanche, les résidus usés de leur activité.

La nutrition nous apparaît encore comme indispensable à un autre point de vue. La vie use le corps vivant; nous verrons dans la suite que toute manifestation vitale est, au sens propre du mot, une destruction de matière organique.

La marche méthodique que nous devons suivre dans notre étude consistera donc à répondre successivement à ces trois questions :

1° De quels matériaux une plante est-elle formée?

2° Quelles sont les brèches que la vie y produit sans cesse?

3° Où et comment prend-elle continuellement de quoi réparer ces brèches et construire de nouveaux étages à l'édifice végétal?

Abordons le premier problème et recherchons aujourd'hui de quoi une plante se compose. Ceci nous amène d'emblée dans le domaine de la chimie.

Voici un morceau de craie. Nous avons beau le réduire en poudre et le regarder au microscope, il nous paraît formé partout d'une seule et même substance; nous n'y distinguons rien de plus : il est homogène.

Mais nous ne l'avons soumis ainsi qu'à un examen physique. La chimie met à notre disposition des moyens plus puissants et qui vont nous conduire plus avant. Après avoir pulvérisé notre craie, nous pouvons la chauffer fortement ou, comme on dit, la calciner. Pour simplifier les choses autant que possible, supposons que cette calcination s'accomplisse dans un espace clos, dans lequel on a d'abord fait le vide au moyen de la machine pneumatique : de cette façon, l'air n'intervient pas et nous pouvons recueillir les produits que notre opération va mettre en liberté. Eh bien, nous trouvons que la calcination a modifié la craie d'une manière profonde : elle s'est transformée en une poudre blanche qui a conservé l'aspect de la craie primitive, mais n'en a plus du tout les propriétés. Cette poudre s'échauffe fortement au contact de l'eau : elle n'est autre que de la chaux vive, que nous avons tous vu employer bien souvent dans la fabrication du mortier. La calcination a aussi dégagé de la craie un produit gazeux, incolore, inodore, plus dense que l'air, auquel on donne le nom d'anhydride carbonique ou d'acide carbonique anhydre.

Nous ne sommes pas au bout de nos peines. Nous venons d'établir que la craie peut se décomposer en chaux vive et en anhydride carbonique. En faisant intervenir des procédés chimiques plus énergiques encore, dans le détail desquels nous n'entrerons pas ici, ces deux substances peuvent être décomposées à leur tour. La chaux se dédoublera ainsi en une sorte de métal appelé calcium et en un gaz, l'oxygène. L'anhydride carbonique nous donnera, de même, de l'oxygène et du carbone. C'est pour rappeler cette composition que la craie a reçu des chimistes le nom de carbonate de calcium.

Afin de nous assurer que nos opérations ont été bien conduites, que rien ne s'est perdu et que rien n'est venu s'ajouter du dehors, il suffira de peser avec soin la craie employée et les produits obtenus : il faudra évidemment que la somme des poids de ces derniers soit exactement égale au poids dont nous étions partis. C'est ce que l'expérience confirme. 100 grammes de craie donnent toujours 56 grammes de chaux vive et 44 grammes d'anhydride carbonique. Nos 56 grammes de chaux renferment 40 grammes de calcium et 16 grammes d'oxygène ; les 44 grammes d'anhydride carbonique en renferment 12 de carbone et 32 d'oxygène. Or, 40 + 16 + 12 + 32 font bien 100.

Ces résultats se résument dans le tableau suivant :

CRAIE (carbonate de calcium) 100 grammes	Chaux vive	56 gr.	Calcium	40 gr.
			Oxygène	16 »
	Anhydride carbonique	44 »	Carbone	12 »
			Oxygène	32 »
		100 gr.		100 gr.

Il n'est pas possible d'aller plus loin et nous avons fait de la sorte ce que l'on appelle une analyse chimique complète. La craie, la chaux, l'anhydride carbonique sont des corps composés puisque nous pouvons les dédoubler en d'autres substances. Mais le calcium, le carbone, l'oxygène sont des corps simples ou éléments, c'est-à-dire que l'on ne possède jusqu'ici aucun moyen de les décomposer ou de les ramener à autre chose.

Cette distinction est la base même de la chimie, qui est la science de la composition et de la décomposition des corps.

On connaît actuellement environ 70 éléments. Ce nombre présente une certaine indétermination, parce

qu'il existe quelques substances extrêmement rares dont on ne peut encore dire définitivement si elles sont simples ou composées.

On trouvera, à la page suivante, un tableau des éléments groupés d'après la classification du chimiste russe MENDELEÏEFF; sous chaque nom, on remarquera une abréviation qui est le symbole chimique de l'élément, et un chiffre qui représente son poids atomique, c'est-à-dire le poids de la plus petite quantité de l'élément qui entre en combinaison. Les poids atomiques représentent non des poids absolus mais simplement des chiffres relatifs, rapportés au poids de l'atome d'oxygène, dont le poids atomique est arbitrairement choisi comme égal à 16. Comme on peut le voir, la classification de MENDELEÏEFF est faite en suivant simplement l'échelle ascendante des poids atomiques. Malgré cela, les corps qui ont entre eux le plus d'analogies viennent se placer avec régularité dans la même colonne verticale. Il y a là un retour périodique tout à fait remarquable, dont l'étude est du ressort de la chimie.

Beaucoup de corps simples sont fort rares et ne jouent qu'un rôle effacé dans la nature. Ceux qui sont vraiment importants et répandus à la surface du globe ne sont guère qu'au nombre d'une quarantaine et dans une étude élémentaire on peut sans inconvénient faire abstraction des autres. Si ces quarante corps suffisent à constituer la presque totalité des objets naturels, c'est que les éléments se mélangent et se combinent entre eux de la manière la plus variée.

Au point de vue chimique, la combinaison et le mélange doivent être soigneusement distingués l'un de

SYSTÈME PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS. 0 — 16

d'après la Table internationale des poids atomiques de 1906

Périodes	Groupe 0	Groupe I	Groupe II	Groupe III	Groupe IV	Groupe V	Groupe VI	Groupe VII	Groupe VIII
1	— —	Hydrogène H = 1,01 1,008	— —	— —	— —	— —	— —	— —	
2	Helium He = 4	Lithium Li = 7,03	Glucinium Be = 9,1	Bore B = 11	Carbone C = 12	Azote N = 14,04	Oxygène O = 16	Fluor F = 19	
3	Néon Ne = 20	Sodium Na = 23,05	Magnésium Mg = 24,36	Aluminium Al = 27,1	Silicium Si = 28,4	Phosphore P = 31	Soufre S = 32,06	Chlore Cl = 35,45	
4	Argon A = 39,9	Potassium K = 39,15	Calcium Ca = 40,1	Scandium Sc = 44,1	Titane Ti = 48,1	Vanadium V = 51,2	Chrome Cr = 52,1	Manganèse Mn = 55	Fer Fe = 55,9 Nickel Ni = 58,7 Cobalt Co = 59
5	— —	Cuivre Cu = 63,6	Zinc Zn = 65,4	Gallium Ga = 70	Germanium Ge = 72,5	Arsenic As = 75	Sélénium Se = 79,2	Brome Br = 79,96	
6	Crypton Kr = 81,8	Rubidium Rb = 85,5	Strontium Sr = 87,6	Yttrium Y = 89	Zirconium Zr = 90,6	Niobium Nb = 94	Molybdène Mo = 96	— —	Rhodium Rh = 103 Palladium Pd = 106,5 Ruthénium Ru = 101,7
7	— —	Argent Ag = 107,93	Cadmium Cd = 112,4	Indium In = 115	Étain Sn = 119	Antimoine Sb = 120,2	Tellure Te = 127,6	Iode I = 126,97	— — — —
8	Xenon X = 128	Cesium Cs = 132,9	Baryum Ba = 137,4	Lanthane La = 138,9	Cerium Ce = 140,25	Praséodyme Pr = 140,5	Néodyme Nd = 143,6	Samarium Sa = 150,3	Gadolinium Gd = 156 Terbium Tb = 160
9	— —	— —	— —	— —	— —	— —	Erbium Er = 166	Thulium Tu = 171	— — — —
10	— —	— —	— —	Ytterbium Yb = 173	— —	Tantale Ta = 183	Tungstène W = 184	— —	Osmium Os = 191 Iridium Ir = 193 Platine Pt = 194,8
11	— —	Or Au = 197,2	Mercure Hg = 200	Thallium Tl = 204,1	Plomb Pb = 206,9	Bismuth Bi = 208,5	— —	— —	
12	— —	— —	Radium Ra = 225	Thorium Th = 232,5	— —	Uranium U = 238,5	— —	— —	— — — —

l'autre. Les substances mélangées conservent chacune leurs caractères, et les propriétés du mélange ne sont que la moyenne de celles des ingrédients qui le composent, comme on peut le constater pour l'eau rougie ou pour un mélange de sable et de limaille de fer. Dans la combinaison, au contraire, il s'agit d'une union

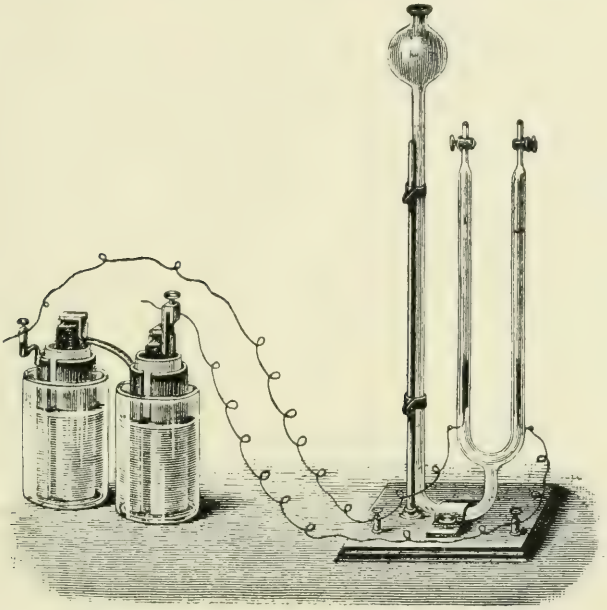


FIGURE 1. — Voltamètre.

bien autrement intime; les particules des corps se jettent les unes sur les autres avec une force telle que leur choc dégage de l'électricité, de la chaleur, souvent même de la lumière; les propriétés des composants disparaissent alors pour être remplacées par des propriétés nouvelles et souvent très différentes. C'est ainsi que le gaz délétère qu'on nomme chlore et le métal sodium donnent, par leur combinaison, les cristaux

blancs et inoffensifs du sel de cuisine, ou, pour revenir à notre exemple de tantôt, les propriétés de la craie ne ressemblent pas du tout à celles de l'anhydride carbonique et de la chaux vive et bien moins encore à celles du carbone, du calcium et de l'oxygène.

Parmi les substances naturelles qui nous intéressent au point de vue de la physiologie des plantes, il faut citer en première ligne l'eau et l'air. Les Anciens les regardaient comme deux éléments, mais nous savons, grâce à Scheele, à Lavoisier, à Cavendish (fin du XVIIIe siècle) que ce sont deux corps composés et nous allons leur appliquer les notions élémentaires de chimie qui viennent d'être rappelées.

L'appareil que vous voyez ici (figure 1) est composé de trois branches communicantes. La plus longue s'élargit vers le haut pour former un réservoir ouvert, les deux autres sont fermées par des robinets. Des fils de platine scellés dans le verre portent chacun une lame de platine, et peuvent être mis respectivement en communication avec le pôle positif et le pôle négatif d'une pile électrique. A part le réservoir, tout l'appareil est rempli d'eau, que l'on a rendue bonne conductrice de l'électricité par l'addition d'un peu d'acide sulfurique. Aussitôt que l'on fait passer le courant, l'eau se décompose : vous voyez se dégager à la surface des lames de platine des bulles gazeuses qui s'élèvent à travers le liquide et se rassemblent aux sommets des deux branches fermées, en refoulant l'eau dans le réservoir. Après que le dégagement a duré quelque temps, une certaine quantité de gaz s'est accumulée dans l'une des branches, c'est de l'oxygène; dans l'autre, de l'hydrogène. Tous deux sont sans couleur ni odeur, mais vous apercevez tout de suite qu'il s'est dégagé beaucoup plus d'hydrogène (du côté

du pôle négatif) que d'oxygène (du côté du pôle positif). Par des mesures exactes, on s'assurerait que le volume d'hydrogène est précisément double du volume d'oxygène.

Si nous ouvrons le robinet du côté du pôle négatif, et que nous en approchions une allumette allumée, le gaz hydrogène, s'échappant sous la pression du liquide refoulé dans le réservoir, s'enflamme et brûle avec une flamme bleue, qui n'éclaire pas.

L'oxygène a des propriétés tout autres. Il ne brûle pas dans l'air comme l'hydrogène, mais en revanche il entretient les combustions avec une remarquable intensité. Ouvrons le robinet de l'autre branche et présentons une allumette qu'on vient de souffler et qui est encore rouge : elle se rallume immédiatement. Voici un flacon rempli d'oxygène; l'expérience de l'allumette en ignition s'y fait encore plus facilement et vous voyez qu'on peut la répéter plusieurs fois de suite. L'oxygène active ainsi toutes les combustions et le fer lui-même y brûle en projetant de brillantes étincelles.

L'hydrogène et l'oxygène sont des corps simples et l'eau est le produit de leur combinaison. L'eau parfaitement pure ou eau distillée ne renferme pas autre chose, et pour nous en convaincre il n'y a plus qu'à contrôler par la balance les résultats de notre analyse. On trouve alors que 9 grammes d'eau se décomposent exactement en 8 grammes d'oxygène et 1 gramme d'hydrogène, comme le rappelle ce tableau :

Eau, 9 grammes	Hydrogène,	1 gramme
	Oxygène,	8 grammes
		9 grammes.

L'eau est une combinaison, l'air au contraire n'est qu'un mélange, formé essentiellement de deux gaz,

l'oxygène et l'azote, dissous l'un dans l'autre. L'oxygène constitue environ 21 °/₀ du volume de l'air parfaitement desséché, ou un peu plus de 1/5, l'azote 79 °/₀ ou à peu près 4/5 : c'est-à-dire que 5 litres d'air sec contiennent approximativement 4 litres d'azote et 1 litre d'oxygène.

L'oxygène vous est déjà connu. L'azote est comme lui un gaz inodore et incolore; mais, loin d'entretenir les combustions, il les arrête. Une allumette que nous plongeons dans ce bocal d'azote s'y éteint tout de suite. L'azote ne brûle pas non plus dans l'air comme le fait l'hydrogène.

Outre l'oxygène et l'azote, on trouve toujours dans l'air une certaine quantité, très variable, de vapeur d'eau, ou comme on dit vulgairement, d'humidité, que l'on peut lui enlever au moyen de substances avides d'eau (acide sulfurique concentré, chlorure de calcium desséché, etc.). L'air contient aussi une petite quantité d'anhydride carbonique. La proportion de ce gaz répandue dans l'atmosphère varie fort peu : elle n'est en moyenne que de 3/10,000 en volume, c'est-à-dire que 10 mètres cubes d'air contiennent seulement 3 litres d'anhydride carbonique ou 6 grammes (1). Quoique sa quantité dans l'air soit si minime, l'anhydride carbonique a une importance capitale pour la végétation et nous ne devons pas manquer de nous familiariser avec ses propriétés.

Voici un bocal rempli d'anhydride carbonique pur. Nous avons déjà dit que ce gaz est sans couleur ni

(1) Presque tous les ouvrages de chimie indiquent 4 à 6 dix-millièmes d'anhydride carbonique. C'est là un chiffre exagéré, qui a été obtenu au début du XIXe siècle au moyen de méthodes peu précises, et qui continue à se répéter par tradition. Toutes les recherches récentes faites à l'aide de procédés perfectionnés s'accordent à donner le chiffre de 3 dix-millièmes.

odeur, et en cela il ressemble aux autres gaz dont nous venons de parler. Sa densité, qui égale une fois et demie celle de l'air, est assez grande pour qu'on puisse le verser d'un récipient dans un autre, à peu près à la manière d'un liquide. Si je plonge dans le bocal cette bougie allumée, vous remarquez qu'elle s'éteint. Non seulement ce gaz est donc incombustible, mais, de plus, il éteint, comme l'azote, les corps en combustion : ce fait trouve même son application dans un grand nombre d'extincteurs d'incendie.

L'eau de chaux, qui est une dissolution limpide de chaux dans l'eau distillée, va nous servir de réactif en nous fournissant un moyen de reconnaître sûrement l'anhydride carbonique. Versons un peu d'eau de chaux dans le bocal, ou, mieux encore, versons l'anhydride carbonique dans de l'eau de chaux et agitons le liquide : il perd sa limpidité et devient d'un blanc laiteux. Que s'est-il passé ? L'anhydride carbonique s'est combiné à la chaux en donnant un corps que nous connaissons déjà : la craie ou carbonate de calcium, et comme celui-ci est insoluble dans l'eau, il trouble notre réactif : il se précipite. Ce phénomène est caractéristique pour l'anhydride carbonique : vous voyez qu'il ne se produit ni pour l'hydrogène, ni pour l'oxygène, ni pour l'azote.

Nous avons ainsi passé en revue les quatre gaz les plus importants pour la physiologie et nous possédons les moyens de les reconnaître sans peine :

L'hydrogène brûle dans l'air avec une flamme bleuâtre, tandis que les trois autres n'y brûlent point;

L'oxygène active les combustions et rallume une allumette à demi éteinte;

L'azote et l'anhydride carbonique éteignent

tous deux les corps allumés; ce dernier seul trouble l'eau de chaux.

Il nous reste à dire quelques mots du carbone qui entre dans la composition de l'anhydride carbonique. A l'état pur et cristallisé, il constitue le diamant ; en mélange avec une faible proportion de substances étrangères, il forme le charbon de bois, le coke, la houille, l'anthracite, bref toutes ces matières noires que l'on réunit communément sous le nom de charbon.

Je n'ai pas besoin de vous apprendre que tous ces corps sont combustibles. Voici d'ailleurs une expérience qui va nous instruire à ce sujet. Je chauffe ce morceau de charbon de bois jusqu'à ce qu'il rougisse et je le plonge dans ce grand flacon rempli d'oxygène : voyez combien sa combustion s'avive ; il brille d'un éclat extraordinaire et dans quelques instants il sera complètement consumé. Que s'est-il passé? Qu'est-ce que la combustion dont nous venons d'être témoins? C'est tout simplement la combinaison des particules d'oxygène avec les particules du charbon; la chaleur dégagée, la lumière produite ne sont que l'effet de la violence avec laquelle a lieu le choc des éléments qui se combinent. Le résultat de cette combinaison, vous le connaissez déjà : c'est l'anhydride carbonique; il a remplacé l'oxygène dans notre flacon et pour en démontrer la présence, il suffit que nous y versions un peu d'eau de chaux.

Si nous avions brûlé notre charbon à l'air libre, le phénomène eût été moins brillant et moins rapide, mais au fond il serait resté le même : c'est avec l'oxygène de l'air que le carbone se serait combiné et l'azote se serait borné à assister à la réaction en spec-

tateur inerte. Toutes les combustions usuelles sont ainsi, en dernière analyse, des combinaisons d'un élément combustible avec l'oxygène atmosphérique. Le pétrole et le gaz d'éclairage sont des composés de carbone et d'hydrogène ; le suif de la chandelle, la stéarine de la bougie, les huiles végétales, sont formés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène et chaque fois que l'un de ces corps brûle, son hydrogène et son carbone se combinent avec l'oxygène de l'air, en donnant, celui-ci, de l'anhydride carbonique, celui-là, de la vapeur d'eau.

Nous voici maintenant armés pour aborder l'étude de la composition chimique d'une plante.

Une telle analyse est une opération de longue haleine qu'il n'est évidemment pas possible d'exécuter ici sous vos yeux. Mais je puis du moins vous en indiquer à grands traits la marche et les résultats.

Le tableau, qui représente des moyennes tirées d'un grand nombre d'analyses, vous donne une idée de la composition de l'herbe des prairies (1). Nous supposons qu'on soit parti de mille kilogrammes d'herbe fraiche.

Ce qui frappe d'abord, c'est l'énorme proportion d'eau : 750 parties sur 1000, c'est-à-dire les 3/4 du poids de la plante fraiche. Des chiffres analogues se retrouvent pour la plupart des êtres vivants. L'eau ne forme pas moins des deux tiers du poids du corps humain; elle entre pour un dixième environ dans le poids des graines, pour plus des neuf dixièmes dans celui des végétaux les plus séveux, tels que les plantes aquatiques, les jeunes feuilles, certains Champignons. En moyenne, on peut dire que les végétaux renferment

(1) Voyez plus haut, page 33, le tableau de la « Composition moyenne de l'herbe des prairies ».

une quantité d'eau qui varie des 2/3 aux 4/5 de leur poids total. Voici un Champignon qu'on nomme *Bovista* : il est aussi gros qu'un pain de deux livres et à l'état frais il en avait presque le poids; complètement séché, il est devenu léger comme une plume. Ce Chou, qui pesait à l'état frais 836 grammes, n'en pèse plus que 89 après avoir été complètement desséché dans une étuve : cela représente 747 grammes d'eau, ou 89 %. Ce pied de Dahlia de 1,200 grammes a été réduit par la dessiccation à 157 grammes, soit plus de 1 kilogramme d'eau ou 87 %; cette Canne à sucre a passé, dans les mêmes conditions, de 426.5 à 197 grammes, soit 55 % d'eau.

La première opération à laquelle il faille soumettre le végétal, pour en faire l'analyse, sera donc de le débarrasser de toute cette eau. Nous y arrivons en l'exposant dans une étuve à une température de 100-110° centigrades, jusqu'à ce qu'il cesse de diminuer de poids : ce sera un signe que toute son eau s'est évaporée. Il nous reste alors ce que l'on appelle la substance sèche. Brûlons-la avec précaution : nous constatons que la plus grande partie s'échappe en fumée en ne laissant pour résidu qu'un peu de cendre blanche. La substance sèche peut donc être subdivisée en une portion combustible ou, comme on dit encore, organique, et en cendres incombustibles.

La partie combustible est toujours de beaucoup prépondérante : dans notre exemple, elle constitue 230 kilogrammes sur les 250 de substance sèche. La fumée que sa combustion dégage peut être recueillie : c'est un mélange gazeux, formé d'azote, d'anhydride carbonique et de vapeur d'eau, et nous en concluons naturellement que notre végétal renfermait de l'azote, du carbone et de l'hydrogène. Au moyen de pesées

délicates, on parviendrait à constater qu'une partie de l'oxygène trouvé dans la vapeur d'eau et l'anhydride carbonique ne provenait pas de l'air ambiant, et qu'ainsi le tissu végétal a dû en fournir une certaine quantité. Les proportions de ces quatre éléments sont inscrites dans notre tableau : on voit que le carbone forme à lui seul près de la moitié de la substance combustible, l'oxygène presque autant, tandis que l'hydrogène et surtout l'azote n'interviennent que pour des chiffres peu élevés.

L'examen des cendres, suivant les procédés ordinaires de l'analyse chimique, nous ferait voir, comme le montre le tableau, qu'elles se composent en général d'une assez forte proportion de potasse et de chaux, d'une quantité modérée de magnésie et d'anhydride phosphorique, de très peu d'anhydride sulfurique et d'oxyde de fer. Enfin, nous y trouvons de la silice en quantité notable, de la soude et du chlore en quantités extrêmement minimes.

Nous possédons de la sorte l'inventaire de ce qu'il y a dans notre plante; et pour nous convaincre que nos opérations ont été bien conduites, il n'y a plus qu'à nous assurer que la somme des éléments extraits répond exactement au poids de substance végétale fraîche qui nous avait servi de point de départ.

Notre liste n'est pas longue : elle ne comprend que les noms de treize corps simples. Encore faut-il opérer un triage parmi eux, si nous voulons éliminer ceux qui ne sont pas absolument indispensables à la plante et qui s'y trouvent d'une manière que l'on peut dire accidentelle. Supposez un homme qui aurait eu le malheur d'avaler une fourchette : la chose, paraît-il, se présente quelquefois, surtout dans les colonnes

des journaux en quête de copie. Il meurt, on soumet son corps à l'analyse chimique, et le chimiste, qui n'est pas prévenu, est tout étonné d'y découvrir de l'argent.

Il arrive aux plantes d'avaler ainsi des substances fortuites, qu'il faut bien se garder de prendre pour des éléments essentiels. Près des mines de zinc de la Vieille-Montagne, par exemple, beaucoup de végétaux, tels que le Thlaspi et la Violette, qu'on nomme pour cette raison calaminaires (de calamine, minerai de zinc), renferment une forte proportion de zinc qui ne leur est nullement nécessaire.

Notre méthode analytique a donc besoin d'être complétée par une méthode synthétique. On peut montrer facilement que les plantes peuvent se passer des trois derniers corps de notre tableau : le sodium, le silicium et le chlore. Si l'analyse les y révèle toujours, c'est qu'ils se trouvent dans tous les sols, et les plantes les absorbent sans en avoir réellement besoin. La liste se trouve par là réduite à dix éléments : carbone, oxygène, hydrogène, azote, soufre, phosphore, potassium, magnésium, calcium et fer. Dix corps simples indispensables, voilà le résultat merveilleux auquel nous aboutissons.

On pourrait croire, en voyant les plantes et les animaux si différents des matières inertes, des rochers, de la terre, des cailloux, des fleuves, qu'ils sont formés d'une tout autre substance, taillés dans une tout autre étoffe. C'est ce que Buffon s'imaginait. Il n'en est rien. Et non seulement les êtres vivants sont façonnés des mêmes éléments que la terre, l'eau et l'air, mais encore des plus communs, des plus répandus, des plus vulgaires parmi ces éléments.

Ce qu'il y a surtout d'intéressant, c'est que la série

des matériaux composant l'herbe dont nous venons de faire l'analyse en effigie, se répète, dans ses traits essentiels, pour tous les végétaux. Notre liste ne s'applique pas seulement à telles plantes déterminées, mais bien à la plante.

Il y a plus encore. Cette liste est sensiblement celle à laquelle on arrive aussi lorsqu'on fait l'analyse du corps des animaux, de telle sorte que dès le début de nos études nous touchons à l'une des découvertes les plus importantes de la science contemporaine : l'unité de composition chimique de tous les êtres vivants.

Ces dix corps forment ainsi comme l'alphabet de la nature vivante.

Parmi les dix corps qui viennent d'être indiqués comme indispensables aux végétaux, il y en a deux : le calcium et le fer, dont les Champignons inférieurs paraissent même pouvoir se passer. Quant aux éléments que l'on rencontre souvent dans les plantes en dehors des dix que nous avons énumérés, il faut, en général, les regarder comme accidentels. Peut-être quelques espèces ont-elles cependant besoin de silicium, de sodium, de manganèse ou de chlore ; on ne sait pas non plus si le brome et l'iode qui se trouvent dans les plantes marines leur sont nécessaires ou non. Tout au moins doit-on dire que ces éléments n'ont qu'une utilité secondaire et il ne s'agirait là en tout cas que de certains êtres exceptionnels.

Nos connaissances au sujet des animaux sont moins avancées, parce qu'il est plus difficile de leur fournir, pendant toute leur vie, une alimentation chimiquement déterminée. Mais il est hors de doute que la liste des substances nécessaires et suffisantes pour eux diffère à peine de celle que nous venons de donner pour les

plantes; il faut probablement y ajouter le chlore et le sodium; peut-être, pour certaines espèces, le fluor, le manganèse et le cuivre.

Reportons-nous maintenant à la classification des corps simples donnée page 306. Nous remarquons que les éléments nécessaires à la vie, ou biogéniques, ont ce caractère commun d'appartenir aux quatre premières lignes du tableau de MENDELEÏEFF. Cela signifie qu'ils ont tous des poids atomiques peu élevés. Cette coïncidence n'est très probablement pas fortuite. Mais son explication complète dépasse le cadre d'un exposé élémentaire. Disons seulement que les éléments à faibles poids atomiques sont aussi les plus communs à la surface du globe; qu'en vertu d'une règle découverte par les physiciens DULONG ET PETIT, ils changent plus difficilement de température que les éléments à poids atomiques élevés, ce qui permet aux organismes de supporter plus facilement et de ne subir que peu à peu les variations du milieu; qu'enfin les corps formés d'atomes à faibles poids atomiques renferment un maximum d'énergie dans un minimum de masse.

Ainsi soixante-dix corps simples suffisent à composer tous les objets terrestres et se retrouvent, comme nous l'enseignent nos spectroscopes, jusque dans les étoiles du ciel. De ces soixante-dix corps, il n'y en a qu'une quarantaine qui soient très répandus sur le globe. Parmi ceux-ci, une quinzaine seulement forment toutes les plantes et tous les animaux. Et sur cette quinzaine, il en est qui ne sont pas indispensables, de sorte que nous trouvons pour les plantes, en dernière analyse, une dizaine d'éléments essentiels.

Dans la terre, dans l'eau, dans l'air, dans les êtres vivants, partout les mêmes matières premières : c'est

leur arrangement seul qui diffère. La science a justifié point par point ces vers de LUCRÈCE (I, 820-822-827) :

« *Namque eadem coelum, mare, terras, flumina, solem*
Constituunt, eadem fruges, arbusta, animantes...
. . . . . .
Tantum elementa queunt, permutato ordine solo. »

[« Car les mêmes principes constituent le ciel, la mer, les terres, les fleuves, le soleil et aussi les grains, les arbres, les animaux... Tant ont de puissance les éléments par le seul changement de leur disposition. »]

N'est-ce pas le cas de rappeler aussi la belle comparaison du philosophe grec qui fut le maître de LUCRÈCE ? ÉPICURE disait que les éléments sont comme les lettres de l'alphabet : elles restent toujours les mêmes, mais suivant l'ordre dans lequel on les groupe, elles peuvent exprimer le cri de l'enfant ou la pensée du philosophe !

L'ÉPOPÉE D'UN RAYON DE SOLEIL (1)

Votre association a pris le titre significatif et charmant de « Foyer intellectuel ». Un foyer est un point de rencontre de rayons; aucun sujet, semble-t-il, ne saurait donc être ici mieux à sa place que l'étude du rayon par excellence, du rayon merveilleux entre tous, le rayon de soleil.

Voulez-vous que nous cherchions ensemble à le suivre dans son voyage, à lui demander quels messages il nous apporte, à scruter les effets qu'il produit?

Vous avez tous admiré déjà les splendeurs d'une nuit d'été. Sur la profondeur bleue de la voûte céleste scintillent des milliers d'étoiles, serrées par ici, plus espacées par là, à l'éclat blanchâtre, bleuâtre ou rouge. La Voie lactée, pâle, croise en écharpe la demi-sphère constellée. Et dans le firmament immuable, une étoile filante trace de temps en temps un sillage, comme pour rappeler que cette immobilité n'est qu'apparente et que tous les astres sont emportés sans cesse dans leurs courses vertigineuses, à travers les espaces.

Est-il rien de plus admirable dans la nature que ce spectacle resplendissant! Oui, sans doute, car voici que l'aube arrive. Le Soleil s'annonce dans les rougeurs

(1) Conférence faite à Huy et à Saint-Gilles; c'est plus particulièrement la dernière, donnée au Foyer intellectuel le 30 octobre 1902, qui a été résumée ici.

de l'Orient, et le premier de ses rayons fait pâlir toutes les étoiles du ciel!

Le Soleil, dans sa course apparente, décrit, comme vous le savez, sa courbe d'or à des hauteurs variables dans notre ciel. Le 21 juin il est le plus haut au-dessus de l'horizon pour notre hémisphère; puis il descend de plus en plus et les jours raccourcissent graduellement. Va-t-il disparaître à jamais? On comprend que l'Homme primitif se le soit demandé avec anxiété. Mais la décroissance des jours s'arrête; et peu après le solstice, voici, ô joie, que les jours grandissent de nouveau. Nous sommes au 25 décembre; le Soleil revient vers nous de l'autre hémisphère; il renaît, il remonte. Et dans une foule de cultes, ce renouveau du Soleil était l'occasion de grandes réjouissances. C'était la fête du « Natalis invicti », de la nativité de l'astre invincible.

Il en était ainsi entre autres dans le culte de Mithra qui, sous les Césars, faillit devenir la religion de tout l'empire romain, et fut supplanté par le culte de la trinité chrétienne.

Aussi, lorsque, au milieu du IVe siècle, le pape SAINT LIBÈRE (en 354) se décida à faire célébrer, dans toute la chrétienté d'Occident, la naissance du Christ qui n'y avait été jusqu'alors l'objet d'aucune fête, il choisit parmi les diverses dates entre lesquelles on hésitait — car les Évangiles ne disent rien de cette date — celle du 25 décembre. Et le Natalis invicti devint la Noël chrétienne. C'est donc bien une date d'origine solaire qui se célèbre inconsciemment dans la chrétienté.

Les rayons du Soleil ne parviennent à la Terre que 8 1 4 minutes après leur émission. La lumière met en effet un temps mesurable, quoique fort minime, à se propager.

Et de même que, sur la Terre, nous n'entendons un coup de canon distant que plusieurs secondes après qu'il a été tiré, de même nous ne voyons jamais du ciel son état actuel, mais une image d'autant plus ancienne qu'il s'agit d'astres plus lointains.

Comment prouver que la lumière emploie un certain temps à arriver jusqu'à nous, et comment mesurer sa vitesse ?

On a d'abord eu recours à des méthodes astronomiques. En 1676, un physicien danois, Olaf Roemer, fit cette découverte capitale que la propagation de la lumière n'est pas instantanée, mais progressive.

En observant les éclipses du premier satellite de Jupiter, ses entrées dans l'ombre que projette cette planète, les immersions, et ses sorties de l'ombre, les émersions, il remarque des retards progressifs suivant les positions occupées par la Terre, par rapport à cette planète et au Soleil.

Dans la position T_1 de la Terre (figure 1), on observe les immersions du satellite S_1 dans l'ombre de Jupiter J_1. En T_2, la Terre est en conjonction avec le Soleil et Jupiter. En T_3 on observe les émersions du satellite. Après la conjonction, les deux planètes sont emportées dans leurs orbites, avec des vitesses très inégales, et à un moment donné, la Terre est en T_4, en opposition avec Jupiter situé en J_2. La distance entre la Terre et Jupiter, à ce moment, est évidemment augmentée du diamètre de l'orbite terrestre, ou de 30,000,000 de myriamètres. Or, entre la conjonction et l'opposition de la Terre, Roemer remarqua et mesura un retard croissant dans les émersions du satellite, retard qui s'éleva finalement à 16 minutes 26 secondes, au moment de l'opposition.

L'illustre physicien l'expliqua par le temps que la

lumière devait employer à franchir l'augmentation de la distance, c'est-à-dire, au moment du retard maximum, le diamètre de l'orbite T_1 D. En divisant celui-ci (30,000,000 myriamètres) par le retard, 16 minutes

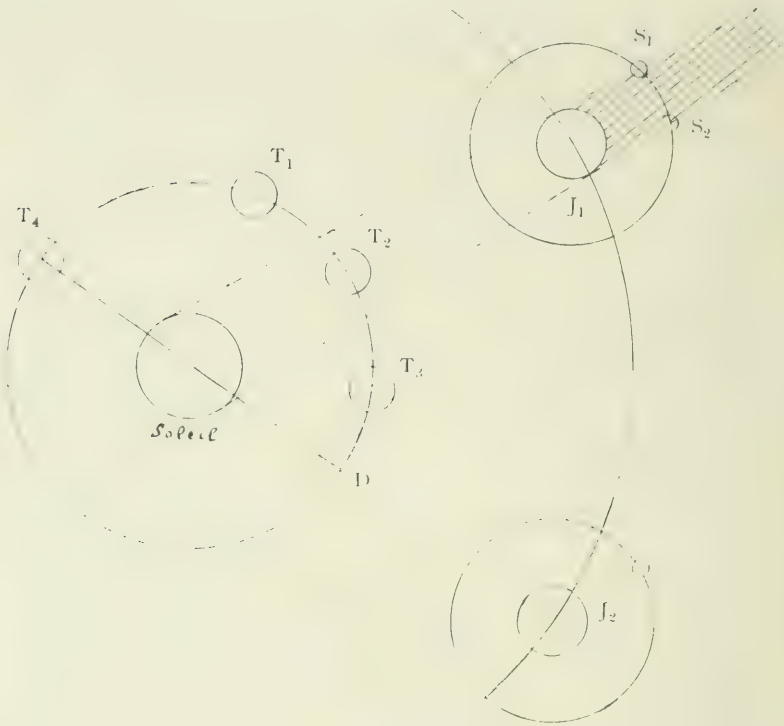


FIGURE 1.

26 secondes, ROEMER détermina la vitesse de la lumière, qui est approximativement égale à 308,000 kilomètres à la seconde (296,300 kilomètres, d'après des déterminations ultérieures corrigées).

Un demi-siècle plus tard (1728) BRADLEY, en se basant sur d'autres phénomènes astronomiques, arrive

aux mêmes conclusions que ROEMER ; il trouve pour la vitesse de la lumière un nombre sensiblement égal, 297,600 kilomètres à la seconde.

Mais on devait atteindre le but sans quitter la Terre !

En 1850 FOUCAULT, appliquant à la détermination de la vitesse de la lumière le principe des miroirs tournants que WHEATSTONE avait utilisés pour la mesure de la vitesse de l'électricité, trouva 298,000 kilomètres à la seconde.

Dans une chambre noire, sur un miroir pouvant être mû par une turbine, et effectuer 800 tours à la seconde,

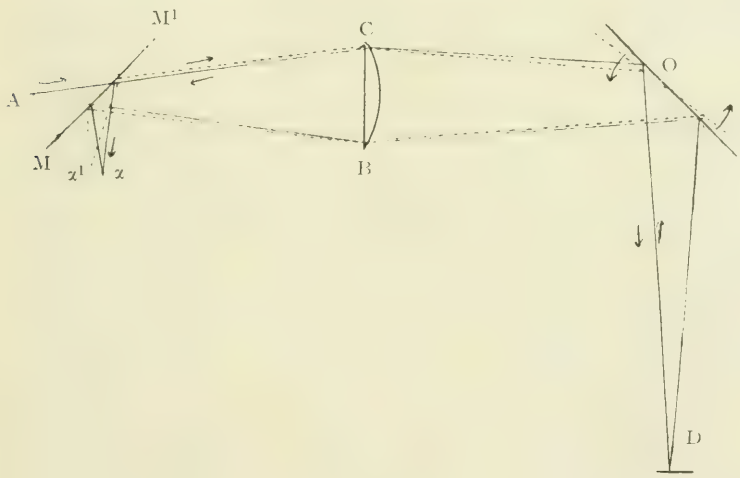


FIGURE 2.

FOUCAULT envoya, par une ouverture A (figure 2), un faisceau lumineux. Ce faisceau traversait une glace MM¹ légèrement inclinée, un objectif BC, atteignait le miroir O immobile, qui le renvoyait à un miroir concave D placé exactement au foyer du point A. Là, la lumière se réfléchissait vers le miroir O

et revenait exactement au point de départ A, se réfléchissant en partie sur la glace MM^1 et venant former une image exactement repérée en α.

Lors de la mise en mouvement du miroir O, le rayon lumineux revenant de D à O, ne trouvant plus le miroir dans la même position, se réfléchissait dans une direction différente et venait former par réflexion sur la glace MM^1 une image α' légèrement déviée de la première. En mesurant la déviation de cette image et la vitesse de rotation du miroir O, on pouvait déterminer la vitesse de la lumière.

La moyenne des mesures qui furent ensuite exécutées par Cornu, Nicholson et Newcomb donne 300,047 kilomètres par seconde, ou très sensiblement

$$V = 3 \,.\, 10^{10} \frac{\text{centimètres}}{\text{seconde}}$$

Maintenant nous pouvons définir ce qu'est un rayon lumineux : c'est toute direction suivant laquelle se propage la lumière émise par un objet.

Cela explique que les rayons lumineux nous viennent des objets, et cela nous semble tout simple. Et cependant le sujet a fait l'objet de bien longues discussions parmi les savants de l'antiquité et du moyen âge.

L'astronome Hipparque (vers 150 avant J.-C.) pensait que les rayons sont lancés par nos yeux, et qu'ils vont pour ainsi dire palper les divers objets ! « Ils embrassent, disait-il, les contours des corps, comme feraient de longs bras et de longues mains, capables de s'étendre à toute distance. »

Pour Démocrite (470 avant J.-C.) et pour Épicure (341-270 avant J.-C.), au contraire, les objets lançaient de leurs surfaces des images qui devaient être reçues dans l'œil.

On n'avait à cette époque aucun moyen de décider entre ces opinions contraires. Pendant vingt siècles on polémiqua dans le vide.

Certes, les arguments des partisans d'HIPPARQUE semblaient les plus plausibles. « On conçoit, disaient-ils, une émanation qui part d'êtres vivants, d'êtres actifs ; mais comment expliquer que des objets bruts, des corps inertes aient une puissance émissive ? Où peut être le siège de leur force rayonnante ? »

Ce fut l'observation capitale de ROEMER qui trancha le débat, en réfutant les conclusions qu'on eût pu croire *a priori* les plus fondées.

En effet, puisque la propagation de la lumière n'est pas instantanée, qu'il faut huit minutes pour qu'elle franchisse la distance du Soleil à la Terre, il suffisait de placer devant l'œil un écran opaque. Si les rayons sortaient de l'œil, l'astre devait disparaître aussitôt ; mais en enlevant l'écran, il ne reparaîtrait pas immédiatement puisqu'il faudrait à l'émanation partie de l'œil le temps d'arriver jusqu'au Soleil. Or ce temps, comme ROEMER venait de l'établir, était d'environ huit minutes. Au contraire, si le rayonnement partait de l'objet, l'astre devait reparaître sur-le-champ, après l'enlèvement de l'écran, puisque les rayons frappant l'écran par derrière n'avaient pour atteindre l'œil qu'à franchir une distance presque nulle. L'expérience, si simple, tranche donc le débat en faveur de l'hypothèse de DÉMOCRITE et d'ÉPICURE.

*
* *

Le rayon venant du Soleil se propage en ligne droite aussi longtemps qu'il reste dans le même milieu.

Il n'en est plus de même lorsqu'il y a changement de milieu, par exemple, lorsqu'il pénètre de l'air dans l'eau, dans le verre, etc. Alors il y a dérangement dans la direction du rayon, ou réfraction du rayon. Ainsi, quand on observe un bâton plongé obliquement dans l'eau, on le voit brisé, par suite de la déviation des rayons.

Souvent, quand au bord de la mer on observe l'image du Soleil lorsqu'il est très bas sur l'horizon, on est surpris des déformations qu'elle présente; elles sont dues aux réfractions, aux déviations subies par les rayons.

FIGURE 3. — Six aspects du disque solaire déformé. (D'après des croquis faits à Taormina, au lever du Soleil, en octobre 1903.)

Mais la réfraction peut s'accompagner d'autres phénomènes qu'un simple changement de route des rayons; ils peuvent être comme on dit décomposés.

Recevons un rayon de soleil sur un prisme, comme le fit NEWTON (1642-1727). Il y a déviation du rayon, bien entendu; mais, en outre, nous constatons, vous le savez, un spectacle merveilleux.

Sur un écran où nous recevons la lumière déviée par le prisme nous voyons, non plus une image blanche, mais une image allongée et colorée d'une infinité de teintes graduées, rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet ! C'est le spectre solaire. Il est dû, ainsi qu'on l'a prouvé par l'analyse séparée de la réfrangibilité de chacune des teintes simples, et par la recomposition des teintes complexes et de la lumière blanche, à ce que celle-ci est composée en réalité d'une infinité de rayons ou de radiations simples, dont la réfrangibilité augmente du rouge au violet et qui se séparent dans le prisme, par suite de leur inégale réfraction.

Résultat d'autant plus remarquable, que la blancheur nous semble par excellence une sensation simple, proclamée essentiellement telle par PLATON ! Avec HIPPARQUE nous avons assisté à une première défaite de l'*a priori;* avec PLATON, celui-ci subit un nouvel échec !

En regardant le spectre solaire de plus près, on aperçoit qu'il n'est pas absolument continu ; il présente çà et là de petites interruptions, des lacunes obscures, des raies noires. — C'est ce que WOLLASTON observa d'abord. Puis FRAUNHOFER les découvrit à nouveau et, les étudiant au moyen d'une lunette, il en compta plusieurs centaines ; depuis on en a dessiné des milliers.

Elles se retrouvent très exactement aux mêmes places dans le spectre solaire ; elles peuvent y servir d'excellents points de repère pour renseigner une région du spectre. FRAUNHOFER désigna les groupes de ces raies, visibles à l'œil, par les lettres de l'alphabet. Les trois premiers groupes A, B et C sont dans le rouge, A à l'extrémité sombre, C près de l'orangé ; D occupe la

partie la plus brillante du spectre, entre l'orangé et le jaune; c'est une des raies les plus nettes; enfin E, F, G et H se distribuent du jaune au violet; H est très large et termine le violet. Ces lignes s'appellent lignes de FRAUNHOFER.

Un prisme pour décomposer les rayons et une lunette pour observer le spectre et ses raies constituent un spectroscope. Et on multiplie le nombre des raies visibles par l'emploi de plusieurs prismes successifs, c'est-à-dire par le spectroscope à plusieurs prismes.

Que signifient ces raies et que nous apprennent-elles? On l'ignora longtemps. Ce furent KIRCHHOFF et BUNSEN qui en découvrirent l'origine, en 1855.

On connaissait à cette époque, outre le spectre solaire, deux catégories de spectres :

1° Les spectres de solides et de liquides incandescents, formés de bandes continues des couleurs du spectre et appelés pour cette raison spectres continus : tels sont les spectres du platine incandescent, de la chaux dans la lumière de DRUMMOND;

2° Les spectres de vapeurs incandescentes, formés essentiellement de quelques raies brillantes et appelés, pour cette raison, spectres discontinus.

Ainsi si nous vaporisons un peu de chlorure de sodium (sel de cuisine) en portant dans la flamme d'un brûleur de BUNSEN, ou d'une lampe à alcool, un fil de platine mouillé d'un peu de solution de ce sel, nous obtenons une lumière jaune qui, examinée au spectroscope, ne nous donne pas de spectre continu de bandes colorées, mais bien une ligne lumineuse jaune, d'une grande intensité, et qui occupe la place de la raie D de FRAUNHOFER. Cette raie jaune, observée avec des

spectroscopes à plusieurs prismes, se dédouble en deux raies vives, très rapprochées.

Ces raies occupent toujours exactement la même place dans le spectre; elles restent les mêmes quel que soit le composé du métal utilisé pour les expériences; elles sont caractéristiques pour le métal qui les fournit.

Le phénomène est tellement sensible, que KIRCHHOFF et BUNSEN en ont tiré la base d'une méthode de recherches des métaux, qui permet de reconnaître dans la flamme la présence de $\frac{1}{33,000,000}$ de milligramme de sodium !

Les sels de zinc, de calcium, de cobalt, de nickel, etc., etc., se prêtent à des expériences semblables; pour le fer, RIECKE a pu observer et mesurer 4,500 raies !

Et cette méthode d'analyse, si élégante, ne s'en est pas tenue à la recherche et à la détermination des métaux connus; l'apparition de raies nouvelles étant la preuve certaine de la présence de corps nouveaux, a permis à KIRCHHOFF et BUNSEN de découvrir, puis d'extraire de certains minéraux, des corps simples nouveaux, le métal *rubidium*, caractérisé par deux raies dans le rouge; le *caesium*, par deux raies dans le bleu. Le *thallium*, l'*indium*, le *gallium*, le *germanium*, le *scandium*, etc., ont été découverts également par le spectroscope, et isolés ensuite.

Or, il se fait que les raies brillantes des divers spectres des vapeurs coïncident exactement avec certaines raies obscures du spectre solaire; c'est le cas notamment pour les raies D du sodium.

Mais comment expliquer qu'il y a dans le spectre solaire des raies obscures, à l'endroit des raies brillantes des spectres de vapeurs ?

Une expérience, très simple, va nous répondre.

Lorsque nous observons au spectroscope les cônes incandescents de charbon d'une lampe électrique à arc, nous remarquons un spectre continu, sans raies. Intercalons entre la lampe électrique et la fente du spectroscope une flamme jaune d'alcool renfermant du chlorure de sodium. Aussitôt apparaissent dans le spectre les raies D du sodium, mais elles apparaissent en noir. Éteignons la lampe électrique, le spectre continu du charbon incandescent disparaît et les raies noires D du sodium se dessinent maintenant en traits brillants, jaunes.

D'une manière générale, quand une lumière intense traverse une flamme de vapeurs ou de gaz incandescents, on voit dans le spectre des raies obscures qui occupent exactement la place des traits brillants que donnerait la lumière du gaz incandescent, si on l'observait seule.

Tout corps qui a la faculté d'émettre une radiation a aussi la propriété de l'absorber; s'il a un grand pouvoir émissif, il a aussi un pouvoir absorbant correspondant. Dans l'expérience que nous venons de décrire, la vapeur du sodium ayant le pouvoir d'émettre des radiations brillantes, figurant les raies D, a aussi le pouvoir d'absorber ces mêmes radiations du spectre du charbon; et comme elle laisse passer les autres, nous percevons ce spectre avec les raies D en noir.

Ce phénomène porte le nom de renversement des raies du spectre.

Désormais tout s'explique dans le spectre solaire et nous pouvons lire à livre ouvert dans le rayon de soleil, au moyen du spectroscope, plus sûrement que nous ne déchiffrons les hiéroglyphes d'un obélisque égyptien !

Et qu'est-ce que nous y lisons ?

Que le Soleil est constitué d'un noyau incandescent solide et liquide, cause du spectre solaire proprement dit. Mais comme ce spectre est parsemé de raies obscures, cela est dû à ce fait que le noyau incandescent est entouré d'une atmosphère absorbante de gaz et de vapeurs métalliques qui produisent ces raies obscures. Et puisque ces raies obscures occupent exactement la place des raies brillantes des spectres de vapeurs métalliques que nous étudions dans nos laboratoires, nous pouvons aussi déterminer dans l'atmosphère du Soleil la présence du sodium, du magnésium, du calcium, du strontium, du baryum, du fer, du cobalt, du nickel, du chrome, du manganèse, du titane et de l'hydrogène.

Mais voici que le Soleil nous apprend des choses bien plus étonnantes. En 1868, Janssen, puis Lockyer découvraient, dans les protubérances gazeuses de l'astre, des raies nouvelles, notamment une raie jaune très brillante située un peu à droite des raies D du sodium (lorsqu'on n'observe que la protubérance gazeuse on a un spectre brillant de vapeurs incandescentes). Lockyer l'attribua à un gaz inconnu sur notre planète, gaz qui devait être très léger et se rapprocher de l'hydrogène; il appela cet élément solaire *hélium*. Or, en 1882, Palmieri retrouvait le spectre de l'hélium dans des gaz extraits de laves du Vésuve et, en 1895, Ramsay et Clève trouvaient l'hélium dans des minerais scandinaves, et l'isolaient. Depuis, sa présence a été constatée dans diverses sources d'eaux minérales (Cauterets), et en très petites quantités dans l'air; enfin, et ceci constitue un des événements scientifiques les plus importants et tout d'actualité, Ramsay vient de recon-

naître que l'émanation du radium se transforme en hélium !

Pendant les éclipses totales du Soleil, on peut observer les protubérances roses de l'atmosphère solaire; elles donnent un spectre à raies brillantes renseignant principalement la présence d'hydrogène, et sont donc dues à des soulèvements de l'atmosphère incandescente de ce gaz. Ces soulèvements ressemblent à de gigantesques éruptions volcaniques et se projettent parfois dans l'espace à des milliers et des milliers de kilomètres !

Les planètes et la Lune, qui n'ont pas de lumière propre, mais qui sont illuminées par les rayons solaires, qu'elles réfléchissent, donnent un spectre analogue au spectre solaire.

Mais les étoiles fixes, qui émettent une lumière propre, fournissent des spectres parsemés de raies obscures, distribuées toutefois autrement que dans le spectre solaire, et qui permettent de déchiffrer leur constitution.

Aldébaran renferme de l'hydrogène, du sodium, du fer, du magnésium; Sirius a à peu près la même constitution; mais α d'Orion et β de Pégase ne contiennent pas d'hydrogène et sont vraisemblablement des mondes sans eau.

Dans les nébuleuses, on peut distinguer aussi des spectres à raies obscures et qui sont dus à des noyaux solides et liquides enveloppés de gaz incandescents; mais on y observe également des spectres à raies brillantes dus à des masses gazeuses illuminées.

En 1890, notre grand chimiste J. S. Stas, alors âgé de 77 ans, constata certaines différences entre les spectres d'une même substance, suivant qu'ils étaient obtenus par voie électrique ou par voie calorifique ; il

remarqua une concordance parfaite entre les raies du spectre solaire et celles des spectres de métaux volatilisés aux hautes températures des étincelles et des décharges électriques. Il en conclut que le spectre solaire est d'origine électrique, qu'il provient de métaux volatilisés par des décharges électriques disruptives, discontinues, répétées à intervalles infiniment courts. La lumière solaire ne serait donc pas produite par un énorme foyer, siège de combustions intenses, mais elle serait due comme la lumière qui sillonne les nues, quand éclate la foudre, à de continuels et gigantesques orages dont les éclairs traversent l'enveloppe gazeuse de l'astre.

Nous pouvons, comme on l'a dit, grâce au spectroscope, faire entrer le Soleil et les étoiles dans nos laboratoires, et les soumettre à l'analyse chimique. Nous les connaissons mieux à cet égard que beaucoup de parties peu accessibles de l'écorce terrestre.

Et, ici, soulignons encore un troisième échec de l'*a priori*, l'erreur mémorable d'Auguste Comte qui déclarait interdite la lecture de la composition des astres !

Non seulement nous avons analysé le Soleil, mais il a pu, lui l'astre inaccessible, nous tracer la voie à l'analyse terrestre; il nous a révélé, par l'analyse spectrale, le moyen de retrouver de nouveaux éléments terrestres; l'hélium n'était déjà plus un nouveau venu quand il fut isolé sur notre globe.

*
* *

Lorsque le rayon de soleil se décompose dans le prisme de nos spectroscopes, il révèle à notre œil

des radiations qui s'étendent du rouge au violet. Mais sont-ce là les limites extrêmes des radiations? Celles-ci ne seraient-elles pas reculées pour d'autres yeux ?

L'expérience répond affirmativement. Il existe des rayons que notre œil ne perçoit pas et que pour cette raison on appelle des radiations obscures. Les sels d'argent, si sensibles à l'action de la lumière, qu'une impression d'une petite fraction de seconde leur suffit pour reproduire fidèlement une image avec ses moindres détails, les sels d'argent, disons-nous, sont fortement modifiés par les raies obscures situées au delà du violet visible, par les rayons dits ultra-violets.

Mais l'œil qui perçoit l'échelle la plus étendue des radiations, c'est le thermomètre. Il décèle des radiations bien en deçà du rouge, dans la région de l'infra-rouge, comme on l'appelle. On peut donc, avec cet « œil » si sensible, surtout sous la forme de bolomètre que lui a donnée Langley, comparer la force, ou comme disent les physiciens, l'énergie calorifique de toute la gamme des radiations. On trouve alors que le maximum d'énergie coïncide à très peu près avec les raies D dans le jaune; de là elle descend vers l'infra-rouge et vers l'ultra-violet, bien au delà du violet visible.

Disons en passant que ces rayons ultra-violets sont absorbés par le verre ; ils ne pénètrent donc guère dans nos appartements quand les fenêtres y sont closes ; mais ils passent facilement au travers du quartz et des verres de quartz fondus, que d'habiles artistes verriers fabriquent aujourd'hui couramment.

*
* *

Suivons cette énergie solaire que nous appelons les rayons, suivons ses travaux merveilleux!

C'est elle qui provoque et dirige l'admirable cycle de l'eau; celle-ci, figée à l'état solide dans les glaciers et les champs de neige des hautes montagnes et des pôles, fond sous l'action de la chaleur solaire, dévale en torrents, en rivières, en fleuves vers les océans, où, par la puissance du rayon solaire toujours, elle se résoud en vapeurs invisibles qui circulent dans l'atmosphère, s'y condensent en nuages, puis en pluie ou en neige, retombent sur le sol et recommencent leur course vagabonde, modifiant, par leur action mécanique et chimique sans cesse répétée, la configuration de la planète sur laquelle elles servent d'indispensable substratum à toute vie. Tout cela, c'est le rayon solaire qui le produit.

C'est encore lui qui, distribuant inégalement la chaleur dans les couches de l'air, y provoque les mouvements de celui-ci; c'est lui qui engendre les vents grâce auxquels l'atmosphère conserve partout une composition sensiblement constante; c'est lui qui provoque sur les nuages la formation des électrons qui cèlent la foudre!

L'action du rayon de soleil sur le chimisme terrestre est énorme et s'étend aussi bien au monde minéral qu'aux êtres organisés. C'est lui qui fixe l'image sur la plaque photographique. Il intervient comme accélérateur dans quantité de réactions chimiques; il provoque l'explosion d'un mélange de chlore et d'hydrogène; mais il retarde, par contre, l'allongement

des végétaux; voyez les jets de Pomme de terre, ils grandissent démesurément à l'obscurité!

Il tue nombre de Bactéries et assainit les eaux polluées par tout ce qu'y déversent nos égouts. MARSHALL WARD a montré qu'il exerçait une action bactéricide rapide sur les cultures du *Bacillus anthracis* (le bacille du charbon) et que cette action, commencée dans le vert bleu, atteint son maximum dans le bleu violet près de la ligne G de FRAUNHOFER, puis s'étend jusqu'aux rayons ultra-violets; or, nous avons vu que ces rayons sont absorbés par le verre; il importe donc que nous ouvrions nos fenêtres!

Ainsi se vérifie l'adage italien : « Là où ne va pas le soleil, va le médecin! »

Mais c'est sur la vie des végétaux que le rayon de soleil révèle son action la plus importante! Grâce à lui les parties vertes des plantes peuvent décomposer l'anhydride carbonique de l'air; à l'aide de ce gaz et de l'eau elles édifient les corps organiques, les hydrates de carbone, les amidons, les sucres, les celluloses et elles restituent à l'atmosphère un volume d'oxygène égal à celui de l'anhydride carbonique qu'elles y ont puisé. Dans ces synthèses végétales, ce sont les rayons complémentaires du vert, c'est-à-dire les rayons rouges, qui sont les plus actifs.

Voici une plante aquatique, une tige d'*Elodea canadensis*, coupée et placée dans une éprouvette remplie d'eau liquide. Si nous projetons sur la plante un faisceau de lumière (on peut remplacer le rayon de soleil par un rayon de lumière électrique), nous voyons s'échapper par la section de la tige une quantité de bulles gazeuses constituées essentiellement par de l'oxygène. Intercalons, entre la source lumineuse et l'éprouvette, une auge remplie d'une

solution bleue de sulfate de cuivre ; le dégagement gazeux se ralentit dans la plante ; remplaçons l'auge au sulfate de cuivre par une auge remplie d'une solution rouge de bichromate de potassium ; il reprend intensivement.

Voici maintenant une feuille vivante sur laquelle, dès le matin, nous avons placé une lame d'étain opaque où nous avons découpé un dessin quelconque. La feuille, dans la région éclairée correspondant aux découpures de l'étain, a fabriqué de l'amidon ; mais celui-ci ne s'est pas formé dans les régions obscures. Aussi, si nous blanchissons la feuille, en la plongeant quelque temps dans de l'alcool chaud, et si nous la plongeons ensuite dans une solution d'iode qui colore l'amidon en bleu foncé, nous voyons apparaître sur le fond blanc de la feuille une reproduction exacte, un négatif en bleu foncé du dessin découpé.

Tous les corps organiques, les bois, les sucres, le papier, le pain, doivent leur origine aux rayons solaires ; et, en même temps qu'elles élaborent ces produits précieux, les plantes fabriquent l'oxygène qui nous est nécessaire, elles restituent à l'atmosphère l'oxygène que le carbone lui avait soustrait, en brûlant à l'état d'anhydride carbonique dans les combustions vives de nos foyers et dans les combustions lentes de nos tissus !

La viande dont nous nous alimentons, tirée des herbivores, doit, cela va de soi, son origine au rayon de soleil.

Mais les végétaux, en collaboration avec les rayons solaires, ont constitué une autre réserve importante d'énergie. Ils ont fourni la houille, enfouie dans le sous-sol et qui provient de l'énergie solaire ancienne, emmagasinée à des époques reculées par les végétaux,

ce que l'on pourrait appeler des « rayons de soleil préhistoriques ».

Et dire que pour édifier ces richesses, les plantes vertes n'utilisent que 1 % environ de l'énergie solaire qui leur est offerte, et que la Terre ne reçoit pour sa part que $\frac{1}{2,300,000,000}$ de l'énergie rayonnée dans l'espace par le Soleil !

Et cependant, que nous envisagions les énergies vitales, que nous considérions l'énergie industrielle de nos machines à vapeur, ou encore l'énergie électrique retirée, au moyen de nos turbines et de nos dynamos, de l'énergie des torrents issus des vastes champs de houille blanche des névés et des glaciers, partout nous rencontrons l'action du rayon de soleil !

Dans la chandelle, la lampe, le bec de gaz, la lumière électrique, c'est le Soleil qui nous éclaire.

Dans les foyers c'est le Soleil qui nous réchauffe, dans les machines à vapeur c'est encore lui qui est le véritable moteur et qui nous traîne.

Dans le vent qui gronde, dans le fleuve qui coule, dans la pluie qui tombe, c'est l'énergie solaire qui reparaît.

« Il est, comme le dit si bien Zola, l'unique justice, » brûlant au ciel pour tout le monde, donnant du » même geste, au pauvre comme au riche, sa magni- » ficence, sa lumière, sa chaleur ». « Il est le semeur de l'éternelle vie. »

Peut-on dire que la science tue la poésie ! Mais la science nous en dévoile là où le vulgaire n'en saurait apercevoir !

Pour le penseur, le bruit de nos machines, le crépitement de nos foyers, les cris de nos poitrines et jusqu'aux grondements de l'ouragan semblent comme

un hymne immense adressé par la Terre au Soleil, qui la maintient suspendue dans l'espace, qui l'échauffe et y entretient la vie.

Ce qui est vrai du monde physique l'est aussi du monde moral! Là encore la force la plus grande que nous connaissions, c'est la lumière, c'est la clarté de la science.

Et si nous voulons tirer de tous ces faits un enseignement précieux, ouvrons toutes larges les fenêtres de nos demeures, pour y laisser pénétrer les rayons bienfaisants du Soleil; ouvrons toutes grandes celles de nos intelligences; faisons pénétrer du soleil dans toutes les demeures et de la lumière dans tous les esprits!

FIN DU DEUXIÈME VOLUME

DES

ŒUVRES DE BOTANIQUE GÉNÉRALE.

IMPRIMERIE SCIENTIFIQUE
CHARLES BULENS
BRUXELLES

Q
113
E77
1908
v.2
P&A Sci.

Errera, Léo Abram
Recueil d'oeuvres

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY